



Travail de Bachelor pour l'obtention du diplôme Bachelor of science HES-SO en
physiothérapie

HES-SO Valais Wallis Domaine Santé & Travail social

**Plateaux vibrants et performance musculaire : quels effets,
quels réglages ?**

Réalisé par : Gattlen Sébastien
 Jeandupeux Patrick

Promotion : Ba 06

Sous la direction de : Mathieu Nicolas

Loèche-les-Bains, le 09.07.2009

Remerciements

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui nous ont apporté leur aide dans ce travail. En particulier, nous disons un grand merci à notre directeur de mémoire, Monsieur Nicolas Mathieu, qui nous a fait part de précieuses remarques constructives dans l'élaboration de ce travail. Son aide nous a été d'une grande utilité.

Nous voulons également remercier toutes les personnes qui ont directement ou indirectement contribué à la réalisation de ce mémoire. Nous remercions les lecteurs anonymes pour leurs avis pertinents et les relectrices, pour leurs corrections d'orthographe et de grammaire. Un grand merci également à Monsieur Roger Hilfiker pour son aide dans la recherche d'articles en « fulltext » ainsi qu'à Monsieur Martin Sattelmayer qui nous a apporté d'excellents conseils dans l'utilisation du programme Review manager 5.

Nous sommes très reconnaissants envers ces personnes et nous leur disons encore une fois MERCI pour leur aide si précieuse.



Table des matières

1	INTRODUCTION	1
1.1	CONTEXTE INTERNATIONAL	1
1.2	CONTEXTE SCIENTIFIQUE	1
1.3	CONTEXTE POLITIQUE	2
1.4	HISTORIQUE DES APPLICATIONS DE VIBRATIONS	2
1.5	CONCEPTUALISATION	3
1.5.1	Définition d'un plateau vibrant	3
1.5.2	Différences et similitudes des deux types de machines	4
1.5.3	Réglages	4
1.5.3.1	Fréquence	4
1.5.3.2	Amplitude	5
1.5.3.3	Accélération	6
1.5.3.4	Temps	6
1.6	MÉCANISMES PHYSIOLOGIQUES	7
1.6.1	Tonic Vibration Reflex	7
1.6.2	Hormones	8
1.6.3	Contrôle postural	8
1.6.4	Augmentation de la température du muscle	9
1.6.5	Hypergravité	9
1.6.6	Tuning musculaire	9
1.7	EVALUATION DES PARAMÈTRES MESURÉS	10
1.7.1	Counter movement jump (CMJ)	10
1.7.2	Force isométrique	11
1.7.3	Force dynamique	11
1.8	IMPORTANCE DE NOTRE REVUE	12
1.9	OBJECTIF DE NOTRE REVUE	12
1.10	HYPOTHÈSES DE NOTRE REVUE	12
1.11	QUESTION DE RECHERCHE	12
2	METHODE	13
2.1	DESIGN	13
2.1.1	Critères d'inclusion	13
2.1.2	Critères d'exclusion	13
2.1.3	Outcomes principaux	13
2.1.4	Outcomes secondaires	13
2.2	STRATÉGIE DE RECHERCHE	14
2.3	RÉCOLTE ET ANALYSE DES DONNÉES	14
2.3.1	Extraction des données	14
2.3.2	Recherche des textes en version complète	15
2.3.3	Evaluation des études incluses	15
2.3.4	Mesures de l'effet de l'intervention	15
2.3.5	Traitement des données manquantes	15
2.3.6	Analyse des données	16
2.3.6.1	Etape 1	16
2.3.6.2	Etape 2	16
3	RESULTATS	17
3.1	SÉLECTION	17
3.1.1	Sélection par titres/doublons	17
3.1.2	Sélection par résumés	17
3.1.3	Sélection par textes complets	17

3.1.4	<i>Evaluation PEDro</i>	18
3.2	RÉSUMÉ DE LA RECHERCHE	19
3.3	ETUDES RETENUES	20
3.4	TABLEAUX RÉCAPITULATIFS DES ÉTUDES INCLUSES	20
3.5	TABLEAU CMJ	25
3.6	TABLEAU FORCE DYNAMIQUE	25
3.7	TABLEAU FORCE ISOMÉTRIQUE	26
4	ANALYSE DES RESULTATS	27
4.1	ETAPE 1	27
4.1.1	<i>Forest plots</i>	27
4.1.2	<i>Différences de moyennes</i>	28
4.1.2.1	CMJ	29
4.1.2.2	Force dynamique	30
4.1.2.3	Force isométrique	31
4.2	ETAPE 2	32
4.2.1	CMJ	32
4.2.1.1	Instruments de mesure	32
4.2.1.2	Population des groupes	33
4.2.1.3	Type d'exercices	33
4.2.1.4	Durée de l'étude	33
4.2.1.5	Fréquence	34
4.2.1.6	Amplitude	34
4.2.1.7	Temps	35
4.2.2	<i>Force dynamique</i>	35
4.2.2.1	Instruments de mesure	36
4.2.2.2	Population	36
4.2.2.3	Type d'exercices	36
4.2.2.4	Durée de l'étude	37
4.2.2.5	Fréquence	37
4.2.2.6	Amplitude	37
4.2.2.7	Temps	38
4.2.3	<i>Force isométrique</i>	38
4.2.3.1	Instruments de mesure	39
4.2.3.2	Population	39
4.2.3.3	Type d'exercices	39
4.2.3.4	Durée de l'étude	39
4.2.3.5	Fréquence	40
4.2.3.6	Amplitude	40
4.2.3.7	Temps	41
5	DISCUSSION	42
5.1	RÉSUMÉ DES RÉSULTATS PRINCIPAUX	42
5.2	COMPARAISON AVEC LA LITTÉRATURE	43
5.2.1	<i>Fréquence</i>	43
5.2.2	<i>Amplitude</i>	43
5.2.3	<i>Accélération</i>	44
5.2.4	<i>Temps</i>	44
5.3	LIMITATIONS DE LA REVUE	44
6	CONCLUSION	46
6.1	IMPLICATIONS POUR LA PRATIQUE	46
6.2	IMPLICATIONS POUR LA RECHERCHE	46
6.3	APPORTS PERSONNELS	46
	RÉFÉRENCES	48

Liste des illustrations

Illustration 1	: Plateforme à axe rotatoire.....	3
Illustration 2	: Plateforme vibrant de haut en bas.....	3
Illustration 3	: Galileo 2000.....	3
Illustration 4	: Powerplate.....	3
Illustration 5	: Onde sinusoïdale.....	5
Illustration 6	: Trial Flow.....	19

Liste des tableaux

Tableau 1	: Répartition des points PEDro	18
Tableau 2	: Outcomes étudiés dans les études incluses	20
Tableau 3	: Récapitulatif des études ayant les CMJ comme outcome.	21
Tableau 4	: Récapitulatif des études ayant la force dynamique comme outcome.....	22
Tableau 5	: Récapitulatif des études ayant la force isométrique comme outcome	24
Tableau 6	: Forest plot : WBV vs Contrôle (Rien)	27
Tableau 7	: Forest plot : WBV vs Contrôle (Mêmes exercices)	28
Tableau 8	: Effets sur les CMJ de WBV vs Contrôle (Rien)	29
Tableau 9	: Effets sur les CMJ de WBV vs Contrôle (Mêmes exercices)	29
Tableau 10	: Effets sur la force dynamique de WBV vs Contrôle (Rien)	30
Tableau 11	: Effets sur la force dynamique de WBV vs Contrôle (Mêmes exercices).....	31
Tableau 12	: Effets sur la force isométrique de WBV vs Contrôle (Rien)	31
Tableau 13	: Effets sur la force isométrique de WBV vs Contrôle (Mêmes exercices)	31
Tableau 14	: Courbe des progressions CMJ	32
Tableau 15	: Courbe des progressions CMJ (Fréquence)	34
Tableau 16	: Courbe des progressions CMJ (Amplitude).....	34
Tableau 17	: Courbe des progressions CMJ (Temps).....	35
Tableau 18	: Courbe des progressions de la force dynamique.....	35
Tableau 19	: Courbe des progressions de la force dynamique (Fréquence)	37
Tableau 20	: Courbe des progressions de la force dynamique (Amplitude).....	37
Tableau 21	: Courbe des progressions de la force dynamique (Temps)	38
Tableau 22	: Courbe des progressions de la force isométrique	38
Tableau 23	: Courbe des progressions de la force isométrique (Fréquence)	40
Tableau 24	: Courbe des progressions de la force isométrique (Amplitude).....	40
Tableau 25	: Courbe des progressions de la force isométrique (Temps)	41

Résumé

Introduction : Les plateaux vibrants apparaissent comme un nouveau moyen de renforcement musculaire. La littérature sur ce sujet n'en est qu'à ses débuts. Le but de cette revue systématique est de déterminer dans un premier temps si les vibrations peuvent conduire à une amélioration des performances musculaires du membre inférieur dans une population saine. Dans un deuxième temps, l'objectif est de définir les meilleurs réglages (fréquence, amplitude, temps) de ces machines afin d'optimiser les améliorations.

Méthode : La recherche dans la littérature a été effectuée sur les bases de données suivantes : Pubmed, PEDro, Cinahl et The Cochrane Library. Onze études randomisées contrôlées ont été incluses.

Résultats : L'effet des vibrations sur la hauteur des sauts (CMJ), la force dynamique et la force isométrique semble être généralement positif. L'amélioration atteint souvent 5% de plus que les groupes de contrôle. Quant à l'optimisation des réglages, il apparaît difficile, sur la base de la littérature scientifique, de faire ressortir une combinaison idéale. Cependant, d'après cette revue, une combinaison de haute fréquence (35-45 Hz) et de basse amplitude (2-5 mm), semblerait être la plus efficace.

Discussion : Il reste un manque d'évidence statistique sur l'apport des vibrations dans l'amélioration des capacités musculaires. La recherche future se devra de démontrer statistiquement l'intérêt de l'application des vibrations dans l'augmentation des capacités musculaires et de définir les réglages optimaux de ces machines.

MOTS-CLES : whole body vibration, réglages, CMJ, force dynamique, force isométrique.

Abstract

Introduktion: Vibrationstraining ist eine neue Mittel um Muskel zu kräftigen. Die Literatur über diesem Thema steht noch am Anfang. Diese Systematische Review befasst sich erstens, ob Vibrationstraining eine Verbesserung der Muskelleistung der unteren Extremitäten in einer gesunden Population vorweist. Zweitens soll diese Review die besten Einstellungen der Vibrationsplatten (Frequenz, Amplitude, Zeit) zur Optimierung den Verbesserungen aufzeigen.

Methode: Die Literatursuche wurde in den folgenden Datenbanken durchgeführt: Pubmed, PEDro, Cinahl und The Cochrane Library. Elf randomisierte kontrollierte Studien wurden eingeschlossen.

Resultate: Die Effekte des Vibrationstrainings auf die Sprunghöhe (CMJ), die dynamische Kraft und die isometrische Kraft ist im Allgemeinen positiv. Die Verbesserung erreicht meistens 5% mehr als die Kontrollgruppen. Zur Optimierung der Einstellungen scheint es schwierig mit der aktuellen Literatur eine optimale Kombination herauszufinden. Trotzdem scheint eine Kombination von hoher Frequenz (35-45 Hz) und tiefer Amplitude (2-5 mm) effizienter zu sein.

Diskussion: Es besteht ein Mangel der statistischen Evidenz bezüglich der Effekte des Vibrationstrainings zur Verbesserung der muskulären Leistungen. Die zukünftige Forschung soll die Anwendung des Vibrationstrainings zur Verbesserung der muskulären Leistungen statistisch beweisen und die optimalen Einstellungen der Vibrationsplatten definieren.

Schlüsselwörter: whole body vibration, Einstellungen, CMJ, dynamische Kraft, isometrische Kraft.

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte international

Ces dernières années, les plateaux vibrants ont envahi les fitness, les centres de remise en forme, les cabinets de physiothérapie et ont également été intégrés à certaines cures d'amaigrissement. Il n'existe plus un magazine de sport, de fitness ou de physiothérapie qui ne vante pas, à l'une de ses pages, les mérites d'un plateau vibrant.

Chaque fabricant, études scientifiques à l'appui, met en avant les qualités et les applications possibles de son appareil. De la redensification de la trame osseuse, à l'augmentation de la force musculaire en passant par la stimulation de la synthèse d'hormones, sans oublier la lipolyse et même un effet positif sur le système cardiovasculaire, ces engins semblent convenir à tous les maux. Ceci représente bien évidemment un énorme potentiel économique pour les fabricants, leur but étant de faire la promotion de ces machines coûte que coûte, au détriment parfois de la rigueur scientifique.

1.2 Contexte scientifique

Ces produits qui utilisent les vibrations provoquées par un plateau oscillant sont relativement nouveaux et la littérature scientifique sur ce sujet commence seulement à se constituer. En effet, rares sont les études sur les vibrations appliquées à l'ensemble du corps (Whole Body Vibration, WBV) datant d'avant 2000. Toute la recherche sur les effets des vibrations s'est d'abord effectuée en appliquant les vibrations directement sur les tendons (41). Au départ, les scientifiques ont cherché à démontrer les bienfaits des vibrations sur les capacités musculaires (17, 21). Depuis peu, quelques chercheurs tentent de définir au mieux les paramètres de réglages, comme la fréquence (29, 31, 35), l'accélération (32) ou encore le temps (30). A l'heure actuelle, il n'existe aucun consensus sur les réglages des plateaux vibrants (22, 26).

1.3 Contexte politique

En tant que futurs physiothérapeutes, il nous semble important de nous investir dans ce domaine qui pourrait devenir un adjuvant intéressant dans de nombreuses thérapies et réadaptations. Si nous devons utiliser de tels appareils ou les conseiller à certains de nos patients, une bonne connaissance de leur fonctionnement et de leurs principes d'utilisation est nécessaire.

Les combats avec les caisses maladie pour le remboursement des traitements se faisant de plus en plus durs, nous devons être en mesure de justifier les intérêts de ces appareils. Un protocole, scientifiquement établi, qui optimiserait les effets des vibrations sur le renforcement musculaire serait un argument de poids. En effet, meilleures sont les améliorations des performances musculaires, plus courtes sont les prises en charge et donc plus faibles sont les coûts pour les assurances maladie.

1.4 Historique des applications de vibrations

Les premières traces d'application de vibrations dans la médecine se trouvent dans l'Odyssée d'Homère. Il y est mentionné que des onctions d'huile par des frictions avaient des effets revigorants. Au XVIème siècle, un livre japonais « Sau-Tsai-Tou-Hoei » démontrait les effets des percussions sur la santé. En 1808, John Barclay relatait dans « The muscular motion of the human body » un cas de guérison de spasmes musculaires par l'application de vibrations. Au début du XIXème siècle, les vibrations ont été largement utilisées dans le suivi de l'hystérie féminine (54).

Plus proche de nous, ce sont les centres d'entraînement des cosmonautes russes qui ont remis cette technologie au goût du jour dans les années 70. Leur but était de prévenir la perte de masse osseuse et la diminution du tonus musculaire lors de voyages prolongés en apesanteur. L'effet des vibrations sur les sujets contraints au lit strict (effet de la gravité diminué) pendant plusieurs semaines a aussi été étudié (53). Depuis, beaucoup d'auteurs se sont intéressés aux effets des vibrations (22-28), entre autres dans le domaine du sport (42), et ont trouvé des applications possibles dans la performance musculaire. Depuis peu, ces appareils ont trouvé leur place dans notre société.

1.5 Conceptualisation

1.5.1 Définition d'un plateau vibrant

Un plateau vibrant est un appareil générant une onde sinusoïdale. Cette onde est transmise à l'ensemble du corps par la zone directement en contact avec la plateforme. Ainsi, l'utilisateur peut recevoir ces vibrations au travers de tout son corps.

La plateforme peut vibrer de deux manières distinctes selon son principe de fonctionnement. Dans la première manière, la plateforme produit une onde par l'oscillation du plan mobile autour de son axe (Illustration 1). L'autre mécanisme consiste en un déplacement vertical de l'ensemble du plan mobile (Illustration 2).

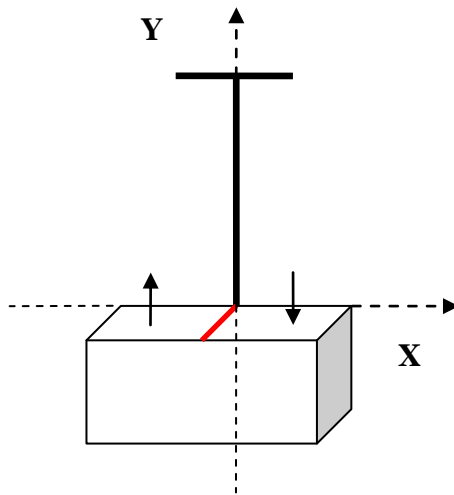


Illustration 1 : Plateforme à axe rotatoire

Exemple : NEMES Bosco, Galileo 2000

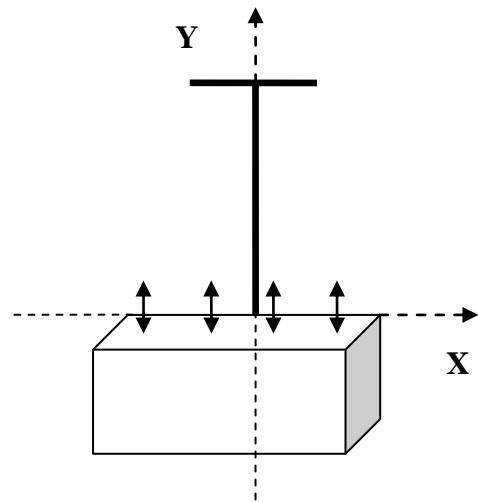


Illustration 2 : Plateforme vibrant de haut en bas

Exemple : Powerplate, Kuntotäry



Illustration 3 : Galileo 2000



Illustration 4 : Powerplate

1.5.2 Différences et similitudes des deux types de machines

Sur ces deux types de machines, l'utilisateur subit des forces orientées vers le haut. Sur le premier type, les forces sont distribuées de manière perpendiculaire au rayon formé par la distance entre l'axe de la machine et le point d'application de la force (position du pied sur la plateforme). Si l'on décompose cette force, on s'aperçoit qu'elle comporte une composante en Y et une autre en X que nous jugeons négligeable.

Sur le deuxième type, la force est distribuée perpendiculairement au plan de la surface vibrante (parallèlement à l'axe Y). La composante en X est alors nulle.

De ce point de vue, nous considérons ces deux types de machines comme identiques.

Une deuxième différence est à relever : l'application de la force dans le temps. Pour le premier type, la force est appliquée aux deux jambes de manière alternée. Alors que pour le second type, l'application de la force est simultanée. Cette différence pourrait se révéler importante au niveau de la ceinture pelvienne, endroit où les deux impulsions se rejoignent. Cependant, l'effet de ces vibrations sur les muscles des membres inférieurs considérés de manière indépendante, reste le même dans les deux cas. Sous cet angle, nous considérons, pour notre question de recherche, ces deux machines comme identiques.

1.5.3 Réglages

Sur les plateformes vibrantes, il est possible de régler différents paramètres, fréquence, amplitude et temps, qui sont définis comme suit.

1.5.3.1 Fréquence

La plus petite séquence qui se répète dans un mouvement périodique est un cycle. Ci-dessous (Illustration 5), A et B en sont 2. Le temps nécessaire à l'accomplissement d'un cycle est une période (T). L'inverse de la période, c'est-à-dire le nombre de cycles par unité de temps, est la fréquence.

$$f = \frac{1}{T}$$

L'unité SI (système international) de la fréquence est le Herz (Hz) où 1Hz = 1 cycle/s. Sur les principales machines disponibles sur le marché, les fréquences réglables vont de 15 à 60 Hz.

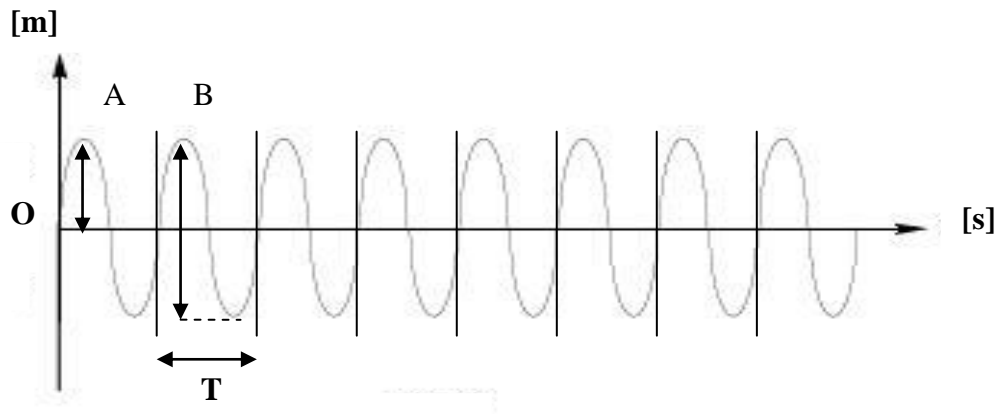


Illustration 5 : Onde sinusoïdale

1.5.3.2 Amplitude

La position d'un objet oscillant (ici la surface du plateau vibrant) est définie par rapport à un point fixe O pris comme origine. La distance maximale entre l'objet oscillant et O au cours de son trajet est définie par l'amplitude, qui peut être positive ou négative (l'amplitude est désignée par la flèche double dans le cycle A). L'amplitude d'une onde sinusoïdale est constante et exprimée positivement. Son unité SI est le mètre. Dans notre revue, nous allons l'exprimer en millimètres.

La notion d'amplitude « peak to peak » désigne la course totale de l'objet oscillant sur une période, soit le chemin entre le sommet négatif et le sommet positif (représentée par la flèche double dans le cycle B). Elle correspond, sur une onde sinusoïdale, au double de l'amplitude.

L'amplitude peut s'ajuster de deux manières. Sur les plateformes de type Powerplate (illustration 2), l'amplitude se règle directement sur la console de commande. Sur les appareils de type Galileo (Illustration 1) l'amplitude s'adapte selon l'espacement des deux pieds (plus les pieds sont espacés, plus l'amplitude est importante). Elle s'échelonne entre 1 mm et 12 mm.

1.5.3.3 Accélération

L'accélération moyenne d'un corps est définie comme le quotient de la variation de la vitesse par le temps écoulé.

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} \equiv \frac{m/s}{s} = m/s^2$$

L'accélération instantanée est la dérivée de la vitesse par rapport au temps.

$$a = \frac{dv}{dt}$$

L'accélération d'une onde sinusoïdale à un endroit x est définie par l'équation :

$$a_x = -x(2\pi f)^2$$

et est maximale aux bornes de son mouvement $x=\pm A$ ce qui nous donne l'accélération maximale d'une onde sinusoïdale :

$$a = \pm A(2\pi f)^2$$

Cette équation permet de calculer l'accélération du plateau vibrant aux amplitudes maximales et démontre que l'accélération dépend directement de l'amplitude A et de la fréquence f . L'unité SI de l'accélération est le m/s^2 . Dans les études, cette accélération est souvent donnée en g , ou $1g = 9.81 m/s^2$, ce qui équivaut à l'attraction terrestre. Pour obtenir cette valeur en g (a_g), il suffit de diviser la partie de droite de la dernière équation par g (9.81).

$$a_g = \pm \frac{A(2\pi f)^2}{g}$$

L'accélération peut varier selon les machines et les réglages de 1 à 16 g .

1.5.3.4 Temps

L'unité de mesure SI du temps est la seconde. Les machines permettent le réglage d'intervalles allant de 30 s à 120 s. Le temps total passé sur la machine est défini par la somme des temps de séries de vibrations. Afin de pouvoir comparer plus facilement les groupes entre eux, nous ne parlons qu'en termes de temps total passé sur la machine au cours d'une séance.

1.6 Mécanismes physiologiques

Les mécanismes physiologiques sur lesquels agissent les vibrations et qui conduisent à une augmentation de force sont encore mal compris. A ce jour, plusieurs hypothèses ont été émises par différents chercheurs mais aucune n'est clairement prouvée.

1.6.1 Tonic Vibration Reflex

L'hypothèse la plus citée dans la littérature actuelle au sujet de l'augmentation de la force musculaire par WBV est celle du « tonic vibration reflex » (TVR) décrit pour la première fois par Hagbarth et Eklund en 1966 (41). La stimulation vibratoire produit des changements de longueur dans le complexe muscle-tendon. Cette perturbation est détectée par des récepteurs sensoriels qui sont situés dans ce complexe (22). Ces récepteurs sont les fuseaux neuromusculaires et les organes de Golgi.

Les fuseaux neuromusculaires se situent dans le corps musculaire et informent le système nerveux central (SNC) sur la longueur du muscle. Les organes de Golgi se trouvent dans les tendons et renseignent le SNC sur la tension du tendon (60). Ces cellules modulent la tension musculaire au travers de l'activation d'un réflexe (22). Ces récepteurs sont plus sensibles lorsque le muscle concerné est contracté (41, 52). Le niveau d'étirement du muscle joue également un rôle dans la sensibilité de ces récepteurs. Un muscle étiré est plus sensible qu'un muscle en position neutre ou raccourcie (41).

Les fuseaux neuromusculaires primaires sont les récepteurs les plus sensibles aux stimulations vibratoires (41). Ceux-ci envoient un message électrique à la moelle épinière par les fibres Ia. Il s'ensuit une activation du motoneurone alpha du muscle stimulé et une inhibition de l'antagoniste (par l'interneurone gamma). Le muscle agoniste est contracté et l'antagoniste relâché (22). Cette réaction se nomme tonic vibration reflex (41). Ceci est en fait le réflexe myotatique induit par les vibrations.

L'augmentation de la performance neuromusculaire est probablement due à une augmentation de la sensibilité de ce réflexe. Le muscle agoniste étant opposé à moins de résistance (relâchement des antagonistes), ceci pourrait expliquer l'augmentation de force à court terme. Ces stimulations vibratoires influencent également l'état d'excitation des structures centrales et périphériques, ce qui peut par la suite faciliter les mouvements volontaires (27).

1.6.2 Hormones

La testostérone stimule l'hématopoïèse responsable de la croissance tissulaire chez l'être humain (60). Cela se traduit par une augmentation de la masse musculaire lors de sa production (60). Kraemer (43) a mis en évidence que la sécrétion de testostérone et d'hormone de croissance augmentait pendant un entraînement résistif. Il a également prouvé que cette concentration se maintenait à un niveau élevé après une période d'entraînement, ce qui expliquerait les effets chroniques (43).

Un facteur hormonal participe à l'augmentation de la force musculaire. Plusieurs auteurs ont étudié le comportement hormonal après une séance de WBV. Bosco (40) a mis en évidence une augmentation de la concentration d'hormone de croissance ainsi que de testostérone dans le plasma après 10 applications de 60 secondes de vibrations. Erskine (39) a pour sa part obtenu des résultats contraires. Elle n'a obtenu aucune augmentation de testostérone.

Ces changements hormonaux qui participent à l'amélioration et au maintien d'un gain de force musculaire à long terme (40) n'ont à l'heure actuelle pas encore été scientifiquement prouvés sur les plateaux vibrants.

1.6.3 Contrôle postural

Une autre hypothèse, mentionnée par Abercomby (35), est celle d'une stratégie de contrôle postural. L'individu, constamment déséquilibré par les vibrations générées par un sol mobile, doit réagir en coordonnant, de manière extrêmement précise, les groupes musculaires agonistes et antagonistes afin de préserver sa position verticale.

Cette théorie s'explique de la manière suivante. Lors de séance de vibrations, il n'y pas que le complexe muscle-tendon (voir ci-dessus) qui réagit aux stimulations vibratoires (22). Tout l'appareil proprioceptif reçoit ces informations et les envoie au système nerveux central. Cet appareil est constitué de différentes cellules mécanoréceptrices comme les cellules de Vater-Pacini, les corpuscules de Meissner, de Rufini ainsi que les disques de Merkel. Ces cellules captent les informations externes (changements mécaniques) et sont logées dans la peau, les articulations, les ligaments et dans les ménisques (62). Les cellules de Merkel et de Rufini sont à adaptation lente et ont un rôle à une faible fréquence vibratoire. Les corpuscules de Vater Pacini et de Meissner

sont à adaptation rapide et peuvent envoyer des informations au système nerveux central à des hautes fréquences (jusqu'à 1000 Hz pour les cellules de Vater-Pacini) (62).

Il est connu que la stimulation des voies proprioceptives joue un rôle important dans la production des contractions isométriques (61).

1.6.4 Augmentation de la température du muscle

Il est admis qu'une augmentation de la température musculaire améliore la performance musculaire (64). L'échauffement avant une compétition en est une preuve pratique. Il a été démontré qu'une augmentation de la température musculaire est obtenue après une séance de WBV. Cochrane a étudié l'augmentation de température dans le Vastus lateralis et a obtenu une augmentation significative identique à un échauffement sur vélo. Ainsi, il affirme qu'un échauffement sur plateau vibrant est autant valable et prend moins de temps (38).

Cette théorie expliquerait donc l'augmentation de la force musculaire immédiate mais ne serait pas valable pour des adaptations à long terme.

1.6.5 Hypergravité

Les muscles travaillent tous les jours contre la gravité terrestre. Il a été démontré que lors de séjours prolongés en apesanteur, les astronautes subissaient une perte de masse musculaire importante, en plus de la diminution de la densité osseuse (44, 63).

L'hypergravité peut augmenter le diamètre du muscle ainsi que sa capacité à générer une force (45, 46, 59). Cette théorie a été émise par Bosco en 1984 (45) grâce à l'application d'une charge externe. Les plateaux vibrants permettent d'atteindre, sans charge supplémentaire, une hypergravité allant jusqu'à 16g.

1.6.6 Tuning musculaire

Les vibrations appliquées au corps entier de manière involontaire et prolongée comportent des effets secondaires négatifs pour la physiologie humaine. De tels effets ont été reportés pour le dos et le système digestif, reproducteur, visuel et vestibulaire (34). Deux revues présentent des effets néfastes sur les nerfs périphériques, les vaisseaux sanguins, les articulations et sur les fonctions de perception (26, 65). La seule manière qu'a le corps de se défendre dans une telle situation d'agression est une suite de

contractions musculaires servant à atténuer les vibrations. Cela s'appelle le tuning musculaire.

Il a été démontré que cette activité musculaire atteignait son point le plus haut à la fréquence de résonance du muscle (23, 51). L'hypothèse de travailler à la fréquence de résonance du muscle a été proposée par Cardinale et Wakeling en 2005 (23). Cette fréquence dépend du degré d'activité musculaire, de la réponse vibratoire du tissu et de la nature de force appliquée (23).

De cette théorie, il apparaît logique de travailler à une telle fréquence, faudrait-il encore pouvoir la définir précisément pour chaque muscle et chaque individu.

1.7 Evaluation des paramètres mesurés

L'évaluation de la force maximale est une manière de percevoir la capacité musculaire développable dans certaines activités sportives (48) ou dans les activités quotidiennes. Pour cela, il existe plusieurs manières de quantifier la force dont disposent les sujets : le CMJ (counter movement jump), l'évaluation de la force dynamique et l'évaluation de la force isométrique.

1.7.1 Counter movement jump (CMJ)

Pour analyser les performances musculaires d'explosivité des membres inférieurs, le CMJ est une technique fortement utilisée. Bosco, en 1983 (47), a démontré que le CMJ était une méthode simple et facilement reproductible ($r = 0.95$).

Le CMJ est un saut vertical réalisé en prenant élan avec les genoux. Les 2 mains sont placées sur les deux épines iliaques antéro-supérieures et ne doivent en aucun cas bouger pendant la réalisation du saut. Le temps de vol est mesuré par des cellules chronométriques placées sur la plateforme sur laquelle le sujet effectue son saut. C'est grâce à ce temps qu'un ordinateur connecté à la plateforme calcule la hauteur du saut. D'après Bosco (47), la hauteur du saut peut être calculée par la formule suivante : $h = \frac{gt^2}{8}$, où g représente l'accélération terrestre et t est le temps en secondes, ce qui donne la hauteur h en mètres.

De notre point de vue, le test du CMJ évalue les capacités réactives des muscles des membres inférieurs de la manière la plus fonctionnelle. En effet, ce test regroupe les

capacités de coordination intramusculaires, intermusculaires et la force maximale. Ces capacités s'utilisent au quotidien (éviter une voiture, sauter d'un trottoir...).

1.7.2 Force isométrique

La force isométrique est la force qu'un individu est capable de développer sans exercer de mouvement. Elle est calculée comme toute force, en Newton. Le sujet doit effectuer une contraction maximale sans réaliser de mouvement. Pour calculer ce développement de force, le gold standard est l'évaluation par dynamomètre (48, 49). Un dynamomètre est une machine calculant la force appliquée sur cette dernière. Il existe des dynamomètres en chaîne ouverte et d'autres en chaîne fermée.

Pour comparer correctement la force maximale des sujets de différentes études, il est impératif d'uniformiser les protocoles de mesures. En effet, une « leg press » (chaîne fermée) ne met pas en jeu les mêmes groupes musculaires qu'un dynamomètre en chaîne ouverte (chaise cybex).

La force isométrique est très peu utilisée dans la vie de tous les jours. Sa valeur a un intérêt dans le suivi de progression d'un entraînement spécifique mais n'est pas très fonctionnelle comme paramètre d'évaluation de la force utile au quotidien.

1.7.3 Force dynamique

La force dynamique se mesure également sur des machines de type dynamomètre. La différence avec le moyen de mesure cité précédemment est que le sujet réalise sa contraction musculaire en mouvement. La vitesse du mouvement est constante et le sujet doit pousser sur la machine au plus fort de ses capacités. La vitesse angulaire peut être différente entre les études (de 30°/sec à 240°/sec). Rochcongar (50) regroupe les vitesses lentes (30-60°/s) et les vitesses plus rapides (180-240°/s). Plus la vitesse est rapide, plus la force mesurée sera petite et inversement (48).

L'utilisation de la force dynamique maximale est rare dans les activités de la vie quotidienne. La mesure de cette force est utile pour des sportifs et dans des métiers de haute intensité physique mais moins pour les mouvements de la vie de tous les jours qui s'effectuent avec une force sous-maximale.

1.8 Importance de notre revue

Plusieurs revues sur les réponses musculaires aux stimulations vibratoires ont été publiées ces dernières années. Les revues de Cardinale et Bosco (27) en 2003 et Luo et al. (28) en 2005 contiennent des études portant sur des stimulations vibratoires de toutes sortes et ne se focalisent pas essentiellement sur les plateformes vibrantes.

En 2005 toujours, Jordan (26) et al. et Issurin et al. (42) ne cherchent pas dans leur revue, à comprendre l'importance des différences dans les protocoles. En 2006, Rehn et al. (25) se consacrent, dans leur revue, à l'étude des effets des vibrations sur la performance musculaire sans comparer les protocoles d'utilisation. Il en est de même pour Nordlund et al. en 2006 (24). Ces deux dernières revues contiennent des études publiées jusqu'en 2005 (respectivement février et août).

Il n'y a, actuellement, pas de consensus scientifique qui établit un protocole idoine d'utilisation de ces plateaux. Cependant, beaucoup d'auteurs (23, 25, 55, 56) affirment qu'il est important de définir un protocole d'utilisation des plateaux vibrants.

1.9 Objectifs de notre revue

En nous basant sur la littérature actuelle, nous avons pour but, dans un premier temps, de quantifier l'effet d'un entraînement sur plateau vibrant sur les capacités musculaires du membre inférieur. Dans un deuxième temps, si les augmentations sont cliniquement significatives, notre objectif est de définir les meilleurs réglages des plateaux vibrants pour optimiser l'amélioration des capacités musculaires.

1.10 Hypothèses de notre revue

Notre première hypothèse est que l'effet de l'entraînement WBV est cliniquement pertinent dans l'amélioration des capacités musculaires des membres inférieurs. Notre seconde hypothèse est qu'il est possible d'extraire des RCTs publiées jusqu'au 1^{er} mars 2009, les meilleurs réglages pour optimiser ces améliorations.

1.11 Question de recherche

Comment ajuster les paramètres réglables d'un plateau vibrant dans le but d'optimiser les augmentations de la performance musculaire des membres inférieurs ?

2 METHODE

2.1 Design

Nous avons réalisé une revue systématique de la littérature scientifique portant uniquement sur des études randomisées contrôlées. Celles-ci ont été sélectionnées avec la méthodologie suivante.

2.1.1 Critères d'inclusion

Nous avons pris en considération toutes les études, RCTs, portant sur une réponse musculaire à l'intervention WBV, au niveau du membre inférieur, ayant comme outcome le CMJ, la force dynamique ou la force isométrique. Les études incluses portent exclusivement sur des sujets humains sains.

2.1.2 Critères d'exclusion

Ont été exclues toutes les études traitant des effets des vibrations uniquement sur : l'indice de densité minérale osseuse, la production d'hormones, la lipolyse, circulation sanguine ou encore les effets cardio-vasculaires. Nous ne nous sommes pas intéressés aux patients atteints de maladies congénitales, aux AVC, à la maladie de Parkinson, ni à une quelconque autre maladie neurologique. Nous avons également exclu les études portant sur une réhabilitation post chirurgie LCAE, ou autre chirurgie du membre inférieur. Les études portant sur une autre partie du corps que le membre inférieur n'ont pas été acceptées.

2.1.3 Outcomes principaux

Le CMJ, la force dynamique et la force isométrique sont nos outcomes principaux.

2.1.4 Outcomes secondaires

La fréquence, l'amplitude et le temps total passé sur la machine sont nos outcomes secondaires.

2.2 Stratégie de recherche

Nous avons pris en compte toutes les études des bases de données ci-dessous allant de la date de leur création au 1^{er} mars 2009.

Nous avons effectué deux recherches, une le 23 septembre 2008 et une deuxième le 1^{er} mars 2009 sur ces bases de données : PubMed, Cinahl, PEDro et The Cochrane Library. Pour ce faire, nous avons utilisé la combinaison de mots-clés ci-dessous :

- *Intervention*: **wbv OR whole body vibration OR vibration exercise OR vibratory training OR power plate OR vibration training OR vibration plate OR vibration OR oscillation**
- *Study design*: **randomized clinical trial OR randomized controlled trial OR RCT OR random***
- Puis: *Intervention AND Study design*

Nous avons décidé de ne pas procéder par une recherche classique en PICOT du fait de la nouveauté du sujet. Cette manière de faire nous a permis d'obtenir un spectre d'études plus large et ainsi de diminuer le risque de manquer une ou plusieurs études importantes.

2.3 Récolte et analyse des données

2.3.1 Extraction des données

Les données ont été listées dans un tableau EXCEL pour la sélection. Chaque « reviewer » a sélectionné les articles de manière indépendante selon les titres, puis les résumés et enfin les textes complets. A chacune de ces étapes, une mise en commun a été effectuée afin de comparer les 2 listes. En cas de désaccord, nous avons décidé de garder l'article pour l'étape suivante. Lors de la sélection par les textes complets, nous étions d'accord sur les articles à écarter. Si tel n'avait pas été le cas, il était prévu de faire appel à une tierce personne afin de décider pour nous. Nous avons mis à jour notre tableau EXCEL à chaque étape afin de n'avoir toujours qu'une seule liste à consulter.

Nous avons ensuite effectué un screening des références afin de compléter notre recherche. Nous avons contacté les 5 auteurs les plus cités en références pour leur demander s'ils étaient en possession d'études non publiées. Nous avons procédé de la

même manière pour la 2^{ème} recherche, excepté pour le screening des références et le contact des auteurs.

2.3.2 Recherche des textes en version complète

Nous avons recherché les articles qui n'étaient pas disponibles en « fulltext » directement dans les bases de données sur www.google.ch, par la librairie de la conférence des hautes écoles suisses (www.kfh.ch) et par des contacts au sein de la haute école de Loèche-les-Bains. Lorsque ces voies de recherche sont restées infructueuses, nous avons contacté directement les auteurs par courrier électronique afin de leur expliquer notre travail et de leur demander leur étude. En dernier recours, nous avons commandé les derniers articles par la bibliothèque de l'école.

2.3.3 Evaluation des études incluses

Pour juger de la pertinence des articles sélectionnés, nous les avons évalués à l'aide de l'échelle PEDro en 11 points [Annexe I]. Le seuil de sélection a été ramené à 6/11 par rapport au protocole (7/11). Cet élément fut le dernier critère d'inclusion.

2.3.4 Mesures de l'effet de l'intervention

Les évolutions des groupes de chaque outcome ont été retranscrites en pourcent afin de faciliter la lecture des résultats et la comparaison de ces derniers. Les données ne nous ont toutefois pas permis de présenter des écarts-types pour tous ces pourcentages. Ces derniers ne peuvent donc pas donner une valeur statistiquement significative mais offrent une bonne indication de la valeur clinique de l'intervention.

Afin d'isoler l'effet des WBV par rapport aux différents groupes de contrôle, nous avons calculé les différences de moyennes de progression : moyenne d'augmentation ou de régression du groupe d'intervention - moyenne d'augmentation ou de régression du groupe de contrôle = différence de moyennes de progression.

2.3.5 Traitement des données manquantes

Dans les cas de données manquantes, nous avons contacté les auteurs afin de les obtenir. Lorsque les auteurs ne nous ont pas répondu, nous avons fait figurer la mention « donnée manquante » dans notre travail.

2.3.6 Analyse des données

L'analyse des données s'est effectuée en 2 étapes. Nous avons cherché, dans la première, à démontrer l'effet d'un entraînement sur plateau vibrant sur les capacités musculaires du membre inférieur. Dans la seconde, nous avons tenté de définir les meilleurs réglages des plateaux vibrants pour optimiser l'amélioration des capacités musculaires.

2.3.6.1 *Etape 1*

Le programme Revman 5 a été utilisé pour analyser l'effet des interventions sur plateaux vibrants par rapport aux différents groupes de contrôle. Deux « Forest-plot » ont été établis pour chaque outcome, l'un comparant l'intervention WBV par rapport à un groupe de contrôle n'effectuant aucun exercice supplémentaire à la vie de tous les jours et l'autre comparant l'intervention à un groupe de contrôle effectuant exactement les mêmes exercices mais sans les vibrations (sous-titre « forest plots »).

Cette même analyse a été effectuée de manière descriptive avec les différences de moyennes de progression et les valeurs p retranscrites dans un tableau récapitulatif (sous-titre « différence de moyennes »). Nous avons jugé qu'une différence de moyennes de plus de 5% représentait un intérêt clinique pour la pratique du physiothérapeute.

2.3.6.2 *Etape 2*

Nous avons ensuite analysé les pourcentages d'augmentation des différents groupes d'intervention WBV entre eux de manière descriptive à l'aide de graphes EXCEL. Afin de faire ressortir les meilleurs réglages, nous avons analysé les données de chaque outcome principal sous l'angle de la fréquence, de l'amplitude et du temps d'application total.

3 RESULTATS

3.1 Sélection

La recherche nous a donné 2741 résultats.

3.1.1 Sélection par titres/doublons

Après une première sélection par titres par laquelle nous avons éliminé des études portant sur la mucoviscidose, sur les brosses à dents électriques, des molécules diverses et variées, des cas neurologiques et de réadaptation post-chirurgie de LCAE, il nous est resté 137 articles. De ces articles furent retranchés les doublons. A la fin de cette première sélection 53 articles restaient pour la suite.

3.1.2 Sélection par résumés

Lors de la sélection par résumés, nous avons supprimé des articles concernant : les membres supérieurs uniquement, des vibrations appliquées à une partie du corps seulement, des études qui ne correspondaient pas au design RCT et des études portant exclusivement sur l'amplitude articulaire. Après cette sélection, il est resté 27 articles.

3.1.3 Sélection par textes complets

Nous avons ensuite cherché à obtenir ces 27 articles en version complète. Nous en avons obtenu 22. Nous avons commandé les 5 articles manquants par le biais de la bibliothèque de l'école. Un article n'a pu être obtenu.

Après la lecture des 26 études et le screening de leurs références, nous avons contacté les 5 auteurs les plus cités en référence. Deux n'ont pas répondu (Bosco C, Torvinen S), deux n'avaient pas connaissance d'études non publiées (Cardinale M, Cochrane D) et le cinquième (Delecluse C) qui travaille actuellement sur une étude n'a pas voulu nous transmettre ses résultats. Ce dernier nous a conseillé de nous limiter aux études publiées car elles sont, selon lui, de meilleure qualité.

En date du 1^{er} mars, nous avons effectué la dernière recherche sur les bases de données utilisées jusqu'alors et nous avons obtenu, après élimination par titres, 9 nouvelles

études à prendre en considération. Après la sélection par résumés et par textes complets, il n'est resté que 2 études (12, 20). Au total, nous avons conservé 21 études.

3.1.4 Evaluation PEDro

Nous avons ensuite procédé à l'évaluation de la qualité de ces articles (échelle PEDro). En tout, 11 études ont été sélectionnées pour le travail final [Annexe 2]. La distribution exacte des points PEDro pour chacune des 21 études se trouve en annexe. [Annexe 3]

Sur ce tableau récapitulatif des points PEDro accordés, il est à noter que la plupart des études obtiennent les critères 1, 2, 4, 8, 10 et 11. Par contre les critères 5 à 7 (Blindings) sont très difficiles à obtenir dans les traitements par application de vibrations. Le critère 6 n'est obtenu par aucune étude, les thérapeutes étant toujours au courant de leur thérapie.

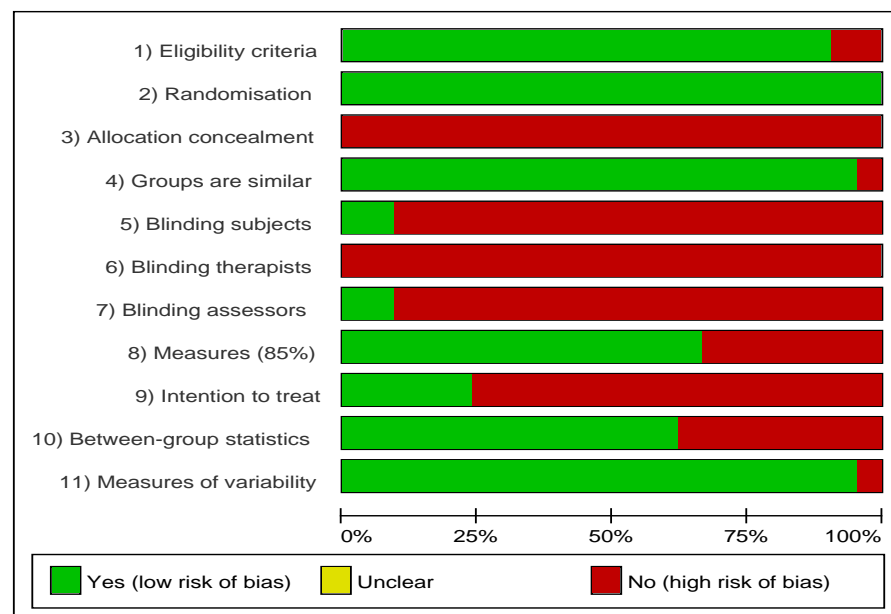


Tableau 1 : Répartition des points PEDro

3.2 Résumé de la recherche

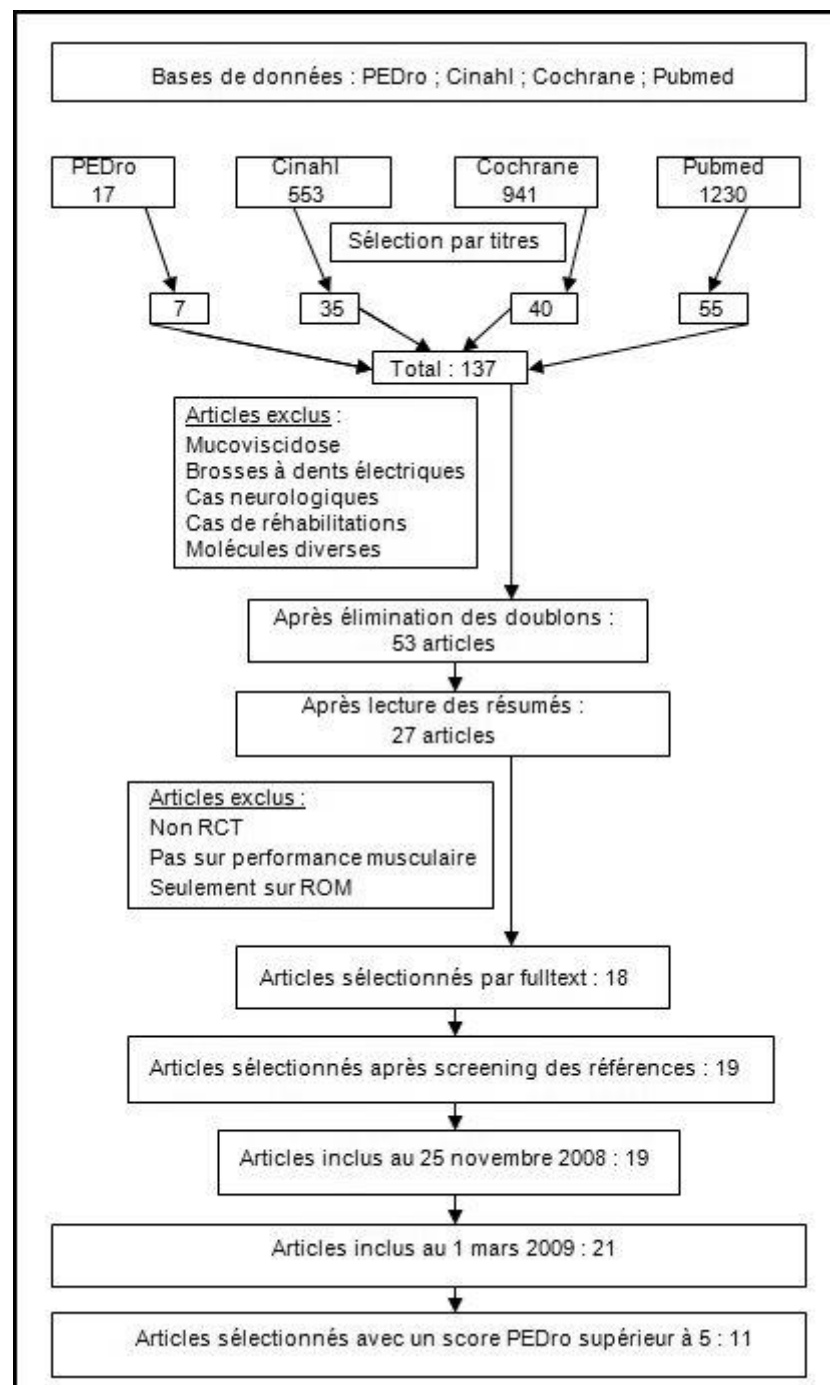


Illustration 6 : Trial Flow

3.3 Etudes retenues

Les 11 études restantes sont regroupées dans le tableau suivant afin d'y mettre en évidence les outcomes étudiés.

Ordre	Auteur	Titre	PEDro	CMJ	DYN	ISO
1	Bautmans et al.	The feasibility of Whole...	8		X	
2	Torvinen et al.	Effect of 8-month vertical...	7	X		X
3	Kvorning et al.	Effects of vibration and...	7	X		X
4	Fagnani et al.	the effects of a whole...	6	X	X	
5	Delecluse et al.	Strength increase after...	6	X	X	X
6	Rønnestad	Comparing the perf...	6	X		
7	Torvinen et al.	Effect of four-month...	6	X		X
8	Cochrane et al.	The short-term effect...	6	X		
9	Russo et al.	High-frequency vibration...	6		X	
10	Rees S et al.	Effects of vibration ...	6		X	
11	Rees S et al.	Effects of whole body ...	6		X	

Tableau 2 : Outcomes étudiés dans les études incluses

3.4 Tableaux récapitulatifs des études incluses

Après avoir mis en évidence les outcomes de chaque étude, nous les avons classées dans les 3 tableaux suivants (CMJ, Force dynamique, Force isométrique). Chaque tableau comprend 12 colonnes qui permettent de décrire les études. La colonne « participants » donne le nombre et le sexe des participants de l'étude, ainsi que le niveau sportif des sujets. Les 2 colonnes suivantes décrivent les exercices effectués par le groupe WBV et par le groupe de contrôle. La colonne sur la durée présente le temps pendant lequel s'est déroulée l'étude. Les 2 colonnes suivantes, « fréquence » et « amplitude peak to peak » donnent les différents réglages utilisés. Les 2 colonnes sur l'évolution donnent en pourcent l'amélioration ou la péjoration moyenne de chaque groupe. L'avant-dernière colonne résume les 2 précédentes en montrant l'effet réel des vibrations par rapport au groupe contrôle grâce à la différence des moyennes. La dernière colonne indique la valeur p entre les groupes.

Tableau 3 : Récapitulatif des études ayant les CMJ comme outcome.

Auteurs et année	Titre	Participants	Groupe WBV	Groupe contrôle	Durée étude	Fréquence	Amplitude peak to peak	Evolution GWBV	Evolution GC	Mean difference	P entre les groupes
Torvinen S et al. (2003)	Effect of 8-month vertical whole body vibration on bone, muscle performance, and body balance: a randomized controlled study.	21 hommes et 35 femmes âgés de 19 à 38 ans non sportifs	4x1 minute avec changement d'exercice toutes les 10sec (léger squat, debout, debout avec genoux légèrement fléchis, légers sauts, déplacement du poids du corps d'un pied à l'autre, debout sur les talons)	Aucun exercice supplémentaire par rapport à leur vie de tous les jours	32 semaines	25 à 45 Hz	2 mm	7.75	-1.04	8.79	0.003
Kvorning T et al. (2006)	Effects of vibration and resistance training on neuromuscular and hormonal measures.	18 jeunes hommes de 21 à 25 ans d'un niveau sportif modéré	Six séries de squats de 8 répétitions sur plateau vibrant sans charge supplémentaire avec 2 minutes de pause entre chaque série	Exactement les mêmes exercices que le groupe WBV, sans vibrations mais avec une charge suppl.	9 semaines	20 à 25 Hz	8 mm	3.51	7.8	-4.29	>0.05
		18 jeunes hommes de 21 à 25 ans d'un niveau sportif modéré	Six séries de squats de 8 répétitions sur plateau vibrant avec charge supplémentaire avec 2 minutes de pause entre chaque série	Exactement les mêmes exercices que le groupe WBV mais sans les vibrations	9 semaines	20 à 25 Hz	8 mm	4.31	7.8	-3.49	<0.001
Fagnani F et al. (2006)	The effects of a whole body vibration program on muscle performance and flexibility in female athletes.	26 jeunes femmes de 21 à 27 ans d'un niveau sportif élevé	2 types d'exercices sur le plateau vibrant pendant des périodes allant de 3x15 sec à 4x1 min	Aucun exercice supplémentaire par rapport à leur vie de tous les jours	8 semaines	35 Hz	8 mm	9.62	3.3	6.32	∅
Delecluse C et al. (2003)	Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training.	67 jeunes femmes de 21 ± 1.8 ans non sportives	5 types d'exercices pour les extenseurs du genou (squat, squat bas, squat avec base de sustentation élargie, squat sur une jambe et fente avant)	Aucun exercice supplémentaire par rapport à leur vie de tous les jours	12 semaines	35 à 40 Hz	2.5 à 5 mm	7.32	-0.83	8.15	∅
		67 jeunes femmes de 21 ± 1.8 ans non sportives	5 types d'exercices pour les extenseurs du genou (squat, squat bas, squat avec base de sustentation élargie, squat sur une jambe et fente avant)	Programme d'entraînement sur leg-press avec 20mn d'échauffement	12 semaines	35 à 40 Hz	2.5 à 5 mm	7.32	1.8	5.52	∅
		67 jeunes femmes de 21 ± 1.8 ans non sportives	5 types d'exercices pour les extenseurs du genou (squat, squat bas, squat avec base de sustentation élargie, squat sur une jambe et fente avant)	Exactement les mêmes exercices que le groupe WBV mais sans les vibrations	12 semaines	35 à 40 Hz	2.5 à 5 mm	7.32	0.4	6.92	∅
Rønnestad BR. (2004)	Comparing the performance-enhancing effects of squats on a vibration platform with conventional squats in recreationally resistance-trained men.	16 hommes âgés de 21 à 40 ans d'un niveau sportif élevé	Différentes séries de squat à charge maximale et sous-maximale sur plateau vibrant	Exactement les mêmes exercices que le groupe WBV mais sans les vibrations	5 semaines	40 Hz	2-3 mm	8.77	4.03	4.74	0.088

Torvinen S et al. (2002)	Effect of four-month vertical whole body vibration on performance and balance.	21 hommes et 35 femmes âgés de 19 à 38 ans non sportifs	4x1 minute avec changement d'exercice toutes les 10sec (léger squat, debout, debout avec genoux légèrement fléchis, légers sauts, déplacement du poids du corps d'un pied à l'autre, debout sur les talons)	Aucun exercice supplémentaire par rapport à leur vie de tous les jours	16 semaines	25 à 40 Hz	2 mm	9.03	1.04	7.99	0.001
Cochrane DJ et al. (2004)	The short-term effect of whole-body vibration training on vertical jump, sprint, and agility performance.	24 étudiants en science du sport de 23.9 ± 5.9 ans d'un niveau sportif modéré	5 différentes positions (debout, squat avec une flexion de genou de 90°, idem avec les pieds en rotation externe, position de squat à 90° de flexion de genou sur l'une puis sur l'autre jambe)	Exactement les mêmes exercices que le groupe WBV mais sans les vibrations	9 jours avec une pause de 2 jours après les 5 premiers jours	26 Hz	11 mm	3.85	-3.33	7.18	∅

Tableau 4 : Récapitulatif des études ayant la force dynamique comme outcome

Auteurs et année	Titre	Participants	Groupe WBV	Groupe contrôle	Durée étude	Fréquence	Amplitude peak to peak	Evolution GWBV	Evolution GC	Mean difference	P entre les groupes
Fagnani F et al. (2006)	The effects of a whole body vibration program on muscle performance and flexibility in female athletes.	26 jeunes femmes de 21 à 27 ans d'un niveau sportif élevé	2 types d'exercices sur le plateau vibrant pendant des périodes allant de 3x15 sec à 4x1 min	Aucun exercice supplémentaire par rapport à leur vie de tous les jours	8 semaines	35 Hz	8 mm	9.33	2	7.33	∅
Rees S et al. (2007)	Effects of vibration exercise on muscle performance and mobility in an older population.	23 hommes et 20 femmes âgés de 66 à 85 ans	2 types d'exercices : position squat avec les genoux fléchis à 100° maximum et 2 exercices dynamiques pour les extenseurs de genou et les fléchisseurs plantaires	Exactement les mêmes exercices que le groupe WBV mais sans les vibrations	8 semaines	26 Hz	5 à 8 mm	8.09	7.23	0.86	∅
		23 hommes et 20 femmes âgés de 66 à 85 ans	2 types d'exercices : position squat avec les genoux fléchis à 100° maximum et 2 exercices dynamiques pour les extenseurs de genou et les fléchisseurs plantaires	Aucun exercice supplémentaire par rapport à leur vie de tous les jours	8 semaines	26 Hz	5 à 8 mm	8.09	-1.45	9.54	<0.001

Rees S et al. (2008)	Effects of whole body vibration exercise on lower extremity muscle strength and power in an older population : a randomized clinical trial.	16 hommes et 14 femmes âgés de 66 à 85 ans	2 types d'exercices : position squat avec les genoux fléchis à 100° maximum et 2 exercices dynamiques pour les extenseurs de genou et les fléchisseurs plantaires	Exactement les mêmes exercices que le groupe WBV mais sans les vibrations	8 semaines	26 Hz	5 à 8 mm	7.95	6.72	1.23	<0.001
Bautmans I et al. (2005)	The feasibility of Whole Body Vibration in institutionalised elderly persons and its influence on muscle performance, balance and mobility: a randomised controlled trial.	9 hommes et 15 femmes de moyenne d'âge de 77.5 ± 11.0, résidents dans un home pour personnes âgées	6 types d'exercices : fente avant, squat, squat bas, squat pieds espacés, pointes mollets, pointes basses	Exactement les mêmes exercices que le groupe WBV mais sans les vibrations	6 semaines	30 à 40 Hz	2 à 5 mm	92.26	27.81	64.45	0.654
Russo CR et al. (2003)	High-frequency vibration training increases muscle power in postmenopausal women.	29 femmes ménopausées âgées de 61.4 ± 7.0	Standing sur la plateforme pendant 2 mn le 1er mois, puis 3x2 minutes les 5 derniers mois	Aucun exercice supplémentaire par rapport à leur vie de tous les jours	24 semaines	12 à 28 Hz	Donnée manquante	0.13	2.6	-2.47	0.6
Delecluse C et al. (2003)	Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training.	67 jeunes femmes de 21 ± 1.8 ans non sportives	5 types d'exercices pour les extenseurs du genou (squat, squat bas, squat avec base de sustentation élargie, squat sur une jambe et fente avant)	Aucun exercice supplémentaire par rapport à leur vie de tous les jours	12 semaines	35 à 40 Hz	2.5 à 5 mm	21.58	-7.15	28.73	∅
		67 jeunes femmes de 21 ± 1.8 ans non sportives	5 types d'exercices pour les extenseurs du genou (squat, squat bas, squat avec base de sustentation élargie, squat sur une jambe et fente avant)	Programme d'entraînement sur leg-press avec 20mn d'échauffement	12 semaines	35 à 40 Hz	2.5 à 5 mm	21.58	18.25	3.33	∅
		67 jeunes femmes de 21 ± 1.8 ans non sportives	5 types d'exercices pour les extenseurs du genou (squat, squat bas, squat avec base de sustentation élargie, squat sur une jambe et fente avant)	Exactement les mêmes exercices que le groupe WBV mais sans les vibrations	12 semaines	35 à 40 Hz	2.5 à 5 mm	21.58	4.32	17.26	∅

Tableau 5 : Récapitulatif des études ayant la force isométrique comme outcome

Auteurs et année	Titre	Participants	Groupe WBV	Groupe contrôle	Durée étude	Fréquence	Amplitude peak to peak	Evolution GWBV	Evolution GC	Mean difference	P entre les groupes
Torvinen S et al. (2003)	Effect of 8-month vertical whole body vibration on bone, muscle performance, and body balance: a randomized controlled study.	21 hommes et 35 femmes âgés de 19 à 38 ans non sportifs	4x1 minute avec changement d'exercice toutes les 10sec (léger squat, debout, debout avec genoux légèrement fléchis, légers sauts, déplacement du poids du corps d'un pied à l'autre, debout sur les talons)	Aucun exercice supplémentaire par rapport à leur vie de tous les jours	32 semaines	25 à 45 Hz	2 mm	9.8	7.9	1.9	0.402
Torvinen S et al. (2002)	Effect of four-month vertical whole body vibration on performance and balance.	21 hommes et 35 femmes âgés de 19 à 38 ans non sportifs	4x1 minute avec changement d'exercice toutes les 10sec (léger squat, debout, debout avec genoux légèrement fléchis, légers sauts, déplacement du poids du corps d'un pied à l'autre, debout sur les talons)	Aucun exercice supplémentaire par rapport à leur vie de tous les jours	16 semaines	25 à 40 Hz	2 mm	6.7	5.2	1.5	0.25
Kvorning T et al. (2006)	Effects of vibration and resistance training on neuromuscular and hormonal measures.	18 jeunes hommes de 21 à 25 ans d'un niveau sportif modéré	Six séries de squats de 8 répétitions sur plateau vibrant sans charge supplémentaire avec 2 minutes de pause entre chaque série	Exactement les mêmes exercices que le groupe WBV, sans vibrations mais avec une charge suppl.	9 semaines	20 à 25 Hz	8 mm	Donnée manquante	12.1	Donnée manquante	0.057
		18 jeunes hommes d'un niveau sportif modéré	Six séries de squats de 8 répétitions sur plateau vibrant avec charge supplémentaire avec 2 minutes de pause entre chaque série	Exactement les mêmes exercices que le groupe WBV mais sans les vibrations	9 semaines	20 à 25 Hz	8 mm	9.3	12.1	-2.8	>0.05
Delecluse C et al. (2003)	Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training.	67 jeunes femmes de 21 ± 1.8 ans non sportives	5 types d'exercices pour les extenseurs du genou (squat, squat bas, squat avec base de sustentation élargie, squat sur une jambe et fente avant)	Aucun exercice supplémentaire par rapport à leur vie de tous les jours	12 semaines	35 à 40 Hz	2.5 à 5 mm	10.3	-0.6	10.9	∅
		67 jeunes femmes de 21 ± 1.8 ans non sportives	5 types d'exercices pour les extenseurs du genou (squat, squat bas, squat avec base de sustentation élargie, squat sur une jambe et fente avant)	Programme d'entraînement sur leg-press avec 20mn d'échauffement	12 semaines	35 à 40 Hz	2.5 à 5 mm	10.3	7.3	3	∅
		67 jeunes femmes de 21 ± 1.8 ans non sportives	5 types d'exercices pour les extenseurs du genou (squat, squat bas, squat avec base de sustentation élargie, squat sur une jambe et fente avant)	Exactement les mêmes exercices que le groupe WBV mais sans les vibrations	12 semaines	35 à 40 Hz	2.5 à 5 mm	10.3	3.4	6.9	∅

3.5 Tableau CMJ

L'âge des participants, hommes et femmes, des 7 études retenues dans ce tableau va de 18 à 40 ans. Le niveau sportif des sujets varie de faible à élevé. Élevé correspond à des sportifs professionnels ou à des sportifs s'entraînant au moins 3 fois par semaine.

Les exercices utilisés par les différents groupes WBV varient peu d'une étude à l'autre. Le squat est à la base de tous ces exercices (squat dynamique, squat statique, squat pieds écartés...). Les groupes de contrôle font, soit exactement les mêmes exercices que le groupe WBV mais sans vibrations (en rouge dans le tableau 3), soit aucun exercice supplémentaire par rapport à leur vie de tous les jours (en bleu dans le tableau 3). Delecluse et al. ont utilisé un groupe de contrôle réalisant un programme classique de renforcement musculaire (en vert dans le tableau 3). Kvorning et al. utilisent une fois un groupe de contrôle ayant une charge supplémentaire par rapport au groupe WBV (en noir dans le tableau 3).

Toutes les études se déroulent sur 5 semaines au minimum sauf l'étude de Cochrane et al. qui ne dure que 9 jours. Au niveau des fréquences et des amplitudes utilisées, elles s'échelonnent respectivement de 25 à 45 Hz et de 2 à 11 mm.

Dans les groupes WBV, tous les sujets progressent (de 2.14 à 9.62%) alors que dans les groupes de contrôle, l'évolution peut être positive ou négative (de -3.33 à +7.8%). Au niveau des différences de moyennes, on constate que 2 valeurs sont en faveur des groupes de contrôle et 8 sont en faveur des groupes WBV.

3.6 Tableau Force dynamique

L'âge des participants, hommes et femmes, des 6 études retenues est beaucoup plus hétérogène que pour le tableau CMJ et va de 21 à 85 ans. Les participants ont tous un niveau sportif faible sauf chez Fagnani et al. où les sujets sont des sportives d'élite.

Ici encore, les exercices utilisés par les différents groupes WBV varient peu d'une étude à l'autre. Russo et al. proposent à leurs participants de rester debout sur la plateforme avec les genoux légèrement fléchis sans exercice supplémentaire. Les groupes de contrôle font, soit exactement les mêmes exercices que le groupe WBV mais sans vibrations (en rouge dans le tableau 4), soit aucun exercice supplémentaire par rapport à leur vie de tous les jours (en bleu dans le tableau 4). Delecluse et al. ont utilisé un

groupe de contrôle réalisant un programme classique de renforcement musculaire (en vert dans le tableau 4).

La durée des études varie de 6 à 24 semaines. Les fréquences utilisées vont de 26 à 40 Hz. Les amplitudes vont de 2 à 8 mm. Russo et al. n'ont pas mentionné d'amplitude (donnée manquante).

Dans les groupes WBV, tous les sujets progressent (de 0.13 à 92.26%) alors que dans les groupes de contrôle, l'évolution est négative pour 2 groupes et positive pour les 7 autres (de - 7.15 à +27.81%). Au niveau des différences de moyennes, on constate que toutes les valeurs sont en faveur des groupes WBV sauf pour Russo et al. (-2.47%).

3.7 Tableau Force isométrique

L'âge des participantes et participants s'échelonne de 19 à 38 ans. Le niveau sportif des sujets est généralement bas, hormis pour Kvorning et al. (sujets modérément entraînés).

Les exercices utilisés par les différents groupes WBV varient peu d'une étude à l'autre et comme pour le tableau 3 et le tableau 4, le squat est à la base de ces exercices. Les groupes de contrôle font, soit exactement les mêmes exercices que le groupe WBV mais sans vibrations (en rouge dans le tableau 5), soit aucun exercice supplémentaire par rapport à leur vie de tous les jours (en bleu dans le tableau 5). Encore une fois, Delecluse et al. ont utilisé un groupe de contrôle réalisant un programme classique de renforcement musculaire (en vert dans le tableau 5). Kvorning et al. utilisent une fois un groupe de contrôle ayant une charge supplémentaire par rapport au groupe WBV (en noir dans le tableau 5).

La durée des études varie de 9 à 32 semaines. La plage de fréquences utilisées dans ces études va de 20 Hz à 45 Hz. Les amplitudes utilisées sont propres à chaque groupe de chercheurs. Pour Torvinen et al. : 2 mm ; pour Kvorning et al. : 8 mm ; pour Delecluse et al. : 2.5 à 5 mm.

Là encore, toutes les évolutions pour le groupe WBV sont positives (de 6.7 à 10.3%) à l'exception de Kvorning et al. chez qui la donnée est manquante. Tous les groupes de contrôle ont une évolution favorable excepté le groupe contrôle qui n'a aucune activité supplémentaire chez Delecluse et al. (de -0.6 à +12.1%). Au niveau des différences de moyennes, seule la donnée de Kvorning et al. est négative alors que les autres parlent en faveur des plateaux vibrants.

4 ANALYSE DES RESULTATS

4.1 Etape 1

4.1.1 Forest plots

Avec les résultats obtenus, il est possible d'analyser l'effet des groupes WBV par rapports aux groupes de contrôle pour nos 3 outcomes principaux (CMJ, force isométrique, force dynamique). Nous avons réalisé des tableaux statistiques (forest plots) en utilisant le programme « Review manager 5 » (Revman 5). Pour chaque outcome, nous avons réalisé 2 tableaux, en y insérant les valeurs finales (moyennes des groupes en fin d'intervention), leur écart-type et le nombre de participants de chaque groupe. L'un compare l'intervention WBV à un groupe de contrôle n'effectuant aucun exercice supplémentaire par rapport à leur vie de tous les jours, l'autre compare l'intervention WBV à un groupe de contrôle effectuant exactement les mêmes exercices sans vibrations. Nous ne présentons cependant pas tous ces différents tableaux dans notre travail car lors de leur réalisation nous avons constaté que ceux-ci ne traduisaient pas correctement les résultats obtenus. A l'aide des 2 tableaux suivants nous allons expliquer les différents problèmes rencontrés.

Le premier tableau (tableau 6) met en évidence des études portant sur les CMJ. Il compare l'effet de l'intervention WBV avec un groupe de contrôle n'effectuant aucun exercice supplémentaire. Toutes les études parlent en faveur de l'intervention WBV, ce qui correspond à nos résultats. En effet, dans ces études, les groupes soumis aux vibrations progressent plus que les groupes de contrôles. Dans notre tableau récapitulatif CMJ, toutes les différences de moyennes sont positives.

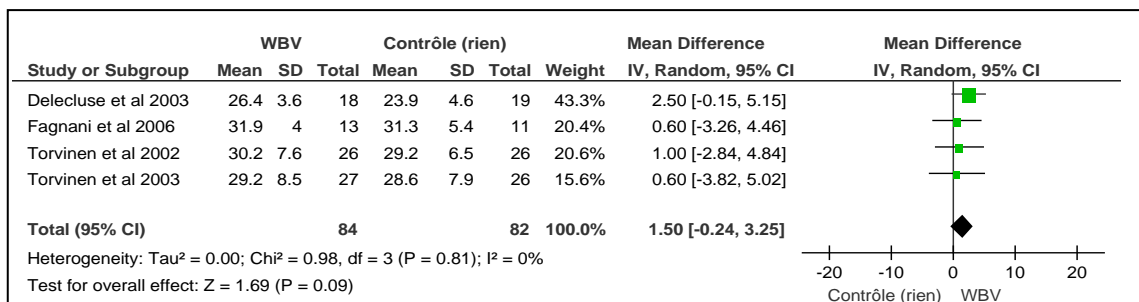


Tableau 6 : Forest plot : WBV vs Contrôle (Rien)

Le second tableau (tableau 7) regroupe également les études portant sur les CMJ. Il compare l'effet de l'intervention WBV avec un groupe de contrôle effectuant les mêmes exercices que le groupe WBV mais sans vibrations surajoutées. Trois études parlent en faveur du groupe WBV et une en faveur du groupe de contrôle. Dans le « forest plot », l'étude de Cochrane et al. est en faveur du groupe de contrôle et celle de Kvorning et al. en faveur du groupe WBV. Mais la différence de moyennes (cf. tableau 3) de Cochrane et al. est positive (donc en faveur du groupe WBV) et la différence de moyennes de Kvorning et al. est négative (en faveur du groupe contrôle). Pour ces 2 études, le « forest plot » donne un résultat inverse aux différences de moyennes. Nous voyons donc avec le 2^{ème} exemple que ce « forest plot » donne une information inexacte pouvant induire le lecteur en erreur.

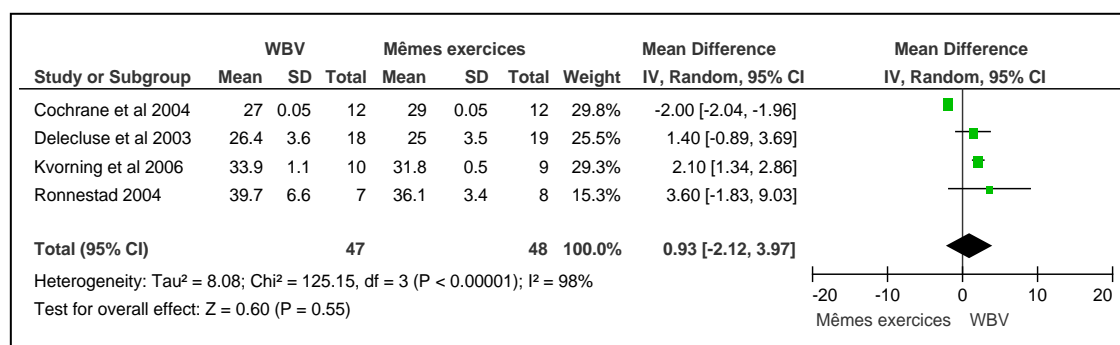


Tableau 7 : Forest plot : WBV vs Contrôle (Mêmes exercices)

Pour éviter ces erreurs, nous aurions pu prendre les moyennes de progression ainsi que leur écart-type au lieu de prendre les valeurs finales. Toutefois, quasiment aucune étude ne donne ces valeurs. Une autre méthode aurait été de faire une analyse sensitive mais enlever la moitié des études du tableau nous paraissait peu scientifique.

Pour ces raisons, nous avons donc décidé de ne pas intégrer ces tableaux à notre travail principal. Ils figurent en annexe. [Annexe 4]

4.1.2 Différences de moyennes

Comme Revman 5 ne nous permettait pas d'obtenir des tableaux ayant une réelle valeur scientifique, nous avons analysé toutes les valeurs obtenues de manière descriptive à l'aide des différences de moyennes de progression.

La valeur p (entre les groupes) est trop souvent manquante dans la littérature scientifique que nous avons parcourue. Dans le tableau « CMJ », sur les 10 groupes analysés, seul 5 ont une valeur p . Pour le tableau « Force dynamique », 4 groupes sur 9

en ont une. Pour le tableau « Force isométrique », seul 4 groupes sur 7 possèdent cette valeur. Il n'est donc pas possible de retranscrire une valeur statistiquement significative avec aussi peu de données.

Les différences de moyennes de progression donnent cependant un bon aperçu clinique de l'effet des vibrations.

4.1.2.1 CMJ

Toutes les différences de moyennes de progression (en pourcent) du tableau « CMJ » sont positives, excepté pour les 2 groupes de Kvorning et al. (tableau 3). Ces différences de moyennes entre les groupes d'intervention (GI) et les groupes de contrôle n'effectuant aucun exercice supplémentaire par rapport à leur vie quotidienne (GR) sont toutes supérieures à 6% (tableau 8). Cela montre un intérêt à réaliser des squats avec vibrations par rapport à ne rien faire.

Les résultats des progressions (différences de moyennes) entre GI et les groupes de contrôle effectuant les mêmes exercices sans vibrations (GM) sont généralement positifs (tableau 9). Trois études mettent en évidence un meilleur rendement des exercices sur plateau vibrant comparé aux mêmes exercices sans vibrations. Une étude (Kvorning) tend à prouver le contraire.

Auteurs	Titre	Différence de moyennes	Valeur p
Torvinen (2003)	Effect of 8-month vert...	8.79	0.003
Delecluse (2003)	Strength increase after...	8.15	∅
Torvinen (2002)	Effects of four-month...	7.99	0.001
Fagnani (2006)	The effects of a whole...	6.32	∅

Tableau 8 : Effets sur les CMJ de WBV vs Contrôle (Rien)

Auteurs	Titre	Différence de moyennes	Valeur p
Cochrane (2004)	The short-term effect...	7.18	∅
Delecluse (2003)	Strength increase after...	6.92	∅
Rønnestad (2004)	Comparing the perfor...	4.74	0.088
Kvorning (2006)	Effects of vibration ...	-3.49	<0.001

Tableau 9 : Effets sur les CMJ de WBV vs Contrôle (Mêmes exercices)

Seul un groupe d'auteurs (Delecluse et al.) utilise un entraînement de résistance comme groupe de contrôle et ne figure donc pas dans les tableaux ci-dessus. Ses résultats sont en faveur du groupe WBV de 5.52%. Ce résultat montre qu'un entraînement de WBV pourrait être plus efficace qu'un entraînement de résistance.

Le groupe de Kvorning et al. accomplissant des squats sans charge sur le plateau vibrant ne figure donc pas dans le tableau 9 car il n'effectue pas les mêmes exercices que le groupe de contrôle.

Dans l'ensemble, hormis pour Kvorning et al., l'utilisation des plateaux vibrants dans le domaine des CMJ est cliniquement pertinente avec des augmentations des hauteurs de sauts de 4.74% et plus, quoi que fasse le groupe de contrôle.

4.1.2.2 Force dynamique

Les effets des vibrations sur la force dynamique sont presque tous positifs. Seul Russo et al. (-2.47 %) n'observent aucune augmentation de la force dynamique. Dans cette étude, les sujets astreints aux vibrations n'effectuent aucun exercice (debout sur la plateforme). Etre debout passivement sur la plateforme ne semble pas être suffisant pour amener à des améliorations.

Les comparaisons des GI et GR, donnent des différences de moyennes de plus de 7%, quand elles sont positives (tableau 10). Ceci montre un certain intérêt des exercices de squat avec vibrations par rapport à aucun exercice.

Lorsque l'on compare GI à GM (tableau 11), des évolutions cliniquement intéressantes sont à relever. Deux études (Delecluse et al., Bautmans et al.) obtiennent des résultats de plus de 15 % alors que deux autres études ne semblent pas démontrer une grande utilité clinique (Rees et al. 2007, Rees et al. 2008, respectivement 0.86% et 1.23%).

Ces résultats mettent en évidence un meilleur rendement des exercices sur plateau vibrant par rapport à ces mêmes exercices sans vibrations.

Delecluse et al. montrent également l'intérêt des vibrations par rapport à un programme de résistance (3.33%, tableau 3).

Auteurs	Titre	Différence de moyennes	Valeur p
Delecluse (2003)	Strength increase after...	28.73	∅
Rees (2007)	Effects of vibration ex...	9.54	<0.001
Fagnani (2006)	The effects of a whole...	7.33	∅
Russo (2003)	High frequency vibrat...	-2.47	0.6

Tableau 10 : Effets sur la force dynamique de WBV vs Contrôle (Rien)

Auteurs	Titre	Différence de moyennes	Valeur p
Bautmans (2005)	The feasibility of who...	64.45	0.654
Delecluse (2003)	Strength increase after...	17.26	∅
Rees (2008)	Effects of whole body...	1.23	<0.001
Rees (2007)	Effects of vibration ex...	0.86	∅

Tableau 11 : Effets sur la force dynamique de WBV vs Contrôle (Mêmes exercices)

De ces résultats, l'utilisation des plateaux vibrants pour l'augmentation de la force dynamique semble être cliniquement intéressante.

4.1.2.3 Force isométrique

Pour la force isométrique, les différences de moyennes sont positives (tableau 3) hormis pour les groupes de Kvorning et al. (-2.8% et une valeur manquante). Seul un de ses groupes figure dans ces tableaux pour la même raison que dans le tableau 9. Le GI de Delecluse et al. obtient un meilleur résultat que ses 3 groupes de contrôle (GR : 10.9%, GM : 6.9%, Groupe Résistance : 3%). Torvinen et al. rapportent, dans leurs 2 études, des valeurs de 1.5% et 1.9%.

Auteurs	Titre	Différence de moyennes	Valeur p
Delecluse (2003)	Strength increase after...	10.9	∅
Torvinen (2003)	Effect of 8.month vert...	1.9	0.42
Torvinen (2002)	Effects of whole body...	1.5	0.25

Tableau 12 : Effets sur la force isométrique de WBV vs Contrôle (Rien)

Auteurs	Titre	Différence de moyennes	Valeur p
Delecluse (2003)	Strength increase after...	6.9	∅
Kvorning (2006)	Effects of vibration ...	-2.8	>0.05

Tableau 13 : Effets sur la force isométrique de WBV vs Contrôle (Mêmes exercices)

Ces résultats ne montrent pas un grand intérêt clinique avec seulement 2 différences de moyennes sur 5 qui sont cliniquement intéressantes ($\geq 5\%$). De plus, ces 2 différences de moyennes proviennent de la même étude.

Ces résultats doivent donc être interprétés avec prudence, également du point de vue du faible nombre d'auteurs représentés dans ces tableaux (3 auteurs pour 5 groupes).

4.2 Etape 2

Les résultats de l'étape 1 montrent généralement un intérêt clinique pour l'utilisation des plateaux vibrants dans l'amélioration des performances musculaires du membre inférieur. Nous avons donc tenté de définir les meilleurs réglages pour optimiser ces améliorations. Quatre graphes (progressions, fréquence, amplitude, temps) ont été élaborés afin de comparer ces paramètres entre les différents groupes WBV. L'axe des Y représente le pourcentage d'amélioration de l'outcome concerné (CMJ, Force isométrique, Force dynamique) et l'axe des X les études en fonction de leur fréquence, amplitude et temps. Ces études ont été classées selon leur progression de manière décroissante.

4.2.1 CMJ

Sept études utilisent les CMJ comme outcome. L'étude de Kvorning et al. comprend 2 groupes de WBV et apparaît donc 2 fois dans nos tableaux, ce qui donne 8 résultats.

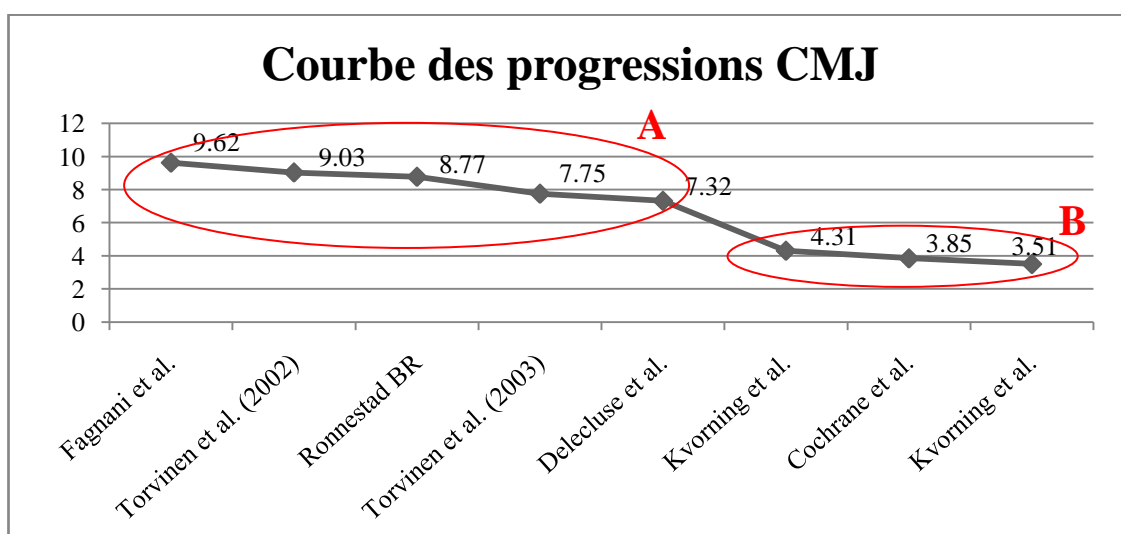


Tableau 14 : Courbe des progressions CMJ

La courbe donnée par ce tableau peut se décomposer en 2 parties. Une première, de 5 études, avec des pourcentages d'augmentation allant de 7.32 à 9.62% et une seconde partie, de 3 études, allant de 3.51 à 4.31%. Nous constatons un écart de 3.01% entre ces zones. Nous avons nommé ces 2 parties « Groupe A » et « Groupe B ».

4.2.1.1 Instruments de mesure

Les instruments de mesure utilisés dans ces études pour calculer la hauteur des CMJ sont des plateformes de contact (Newtest, Ergotest, Kistler 9281 B, Ergojump Psion XP,

Swift performance) qui mesurent le temps de vol et qui en déduisent la hauteur des sauts. Les méthodes de mesure étant homogènes, les résultats peuvent être, de ce point de vue-là, analysés entre eux.

4.2.1.2 Population des groupes

Les sujets des études du groupe A sont âgés de 19 à 38 ans et les sujets du groupe B sont âgés de 18 à 30 ans. Les tranches d'âges sont donc semblables dans les 2 groupes. Les 2 sexes sont représentés et dans le groupe A et dans le groupe B. Le groupe A comprend des jeunes gens très sportifs aussi bien que des personnes non sportives. Ceux du groupe B ont un niveau sportif modéré à élevé. Dans le groupe B, il n'y a pas de personnes non sportives. Cet élément pourrait influencer la lecture du tableau. En effet, comme le mentionne Bautmans (1), une personne de faible niveau physique possède un plus fort potentiel d'amélioration de ses performances musculaires qu'une personne bien entraînée.

Ceci pourrait expliquer que le groupe A ait un meilleur résultat global que le groupe B. Or, 2 des 3 meilleurs résultats ont été obtenus avec des sujets de haut niveau sportif. Le niveau sportif de base ne semble donc pas être déterminant.

4.2.1.3 Type d'exercices

Les exercices effectués sur les plateaux vibrants sont, comme relaté plus haut, conjugués autour du squat. Dans chacun des groupes A et B, les exercices sont effectués de manière dynamique et/ou statique et il n'y a, de ce point de vue-là, guère de différences entre les groupes.

4.2.1.4 Durée de l'étude

La durée des études du groupe A varie de 5 à 32 semaines et celle du groupe B de 9 jours à 9 semaines. Au vu de ces chiffres, nous pourrions penser que les meilleurs résultats du groupe A sont dus à une plus longue période d'entraînement. Cependant, nous constatons que pour les 2 résultats de Torvinen et al., l'amélioration est meilleure après 16 semaines qu'après 32. Nous remarquons également que le premier et le troisième meilleur résultat sont réalisés sur une période de 8 et 5 semaines respectivement. Dans le groupe B, une étude est effectuée sur 9 jours, et l'autre, qui comprend 2 groupes, sur 9 semaines. Les durées des études sont donc, excepté celle de Cochrane et al., semblables.

4.2.1.5 Fréquence

Les fréquences utilisées dans le groupe A vont de 25 Hz à 45 Hz. Delecluse et al. emploient 2 fréquences différentes 35 et 40 Hz. Fagnani et al. et Ronnestad utilisent des fréquences constantes, respectivement 35 et 40 Hz. Torvinen et al. utilisent des fréquences de 25 à 45 Hz. Tous ces auteurs emploient des hautes fréquences (≥ 35 Hz).

Pour le groupe B, les fréquences sont rangées entre 20 et 26 Hz. Un groupe d'auteurs utilise une fréquence unique (26 Hz) et l'autre utilise 2 fréquences : 20 Hz pendant 5 semaines et 25 Hz pendant 4 semaines.

Nous constatons que le groupe progressant le plus (A) utilise des plus hautes fréquences que le groupe progressant le moins (B). Nous dégagons de ces résultats une tendance marquée en faveur des hautes fréquences (35-40 Hz).

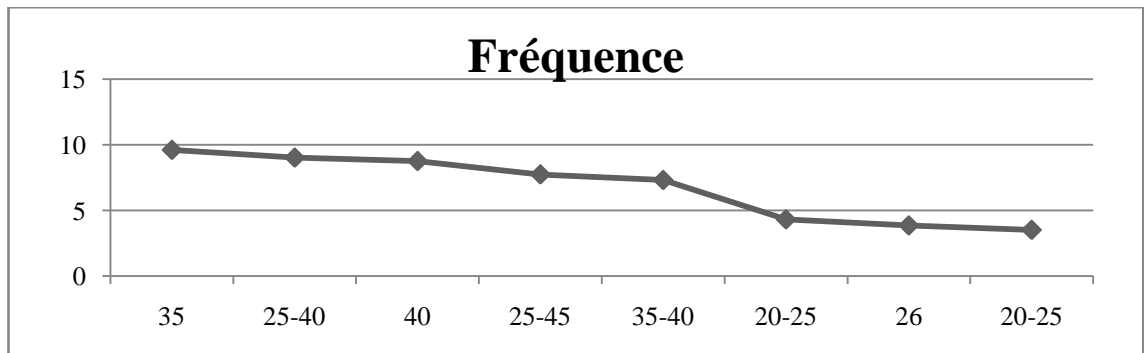


Tableau 15 : Courbe des progressions CMJ (Fréquence)

4.2.1.6 Amplitude

Les amplitudes utilisées dans le groupe A vont de 2 à 8 mm. Le groupe B a de plus grandes amplitudes (de 8 à 11 mm). Excepté l'étude de Fagnani et al., ce graphe montre que de bons résultats peuvent être obtenus avec de petites amplitudes.

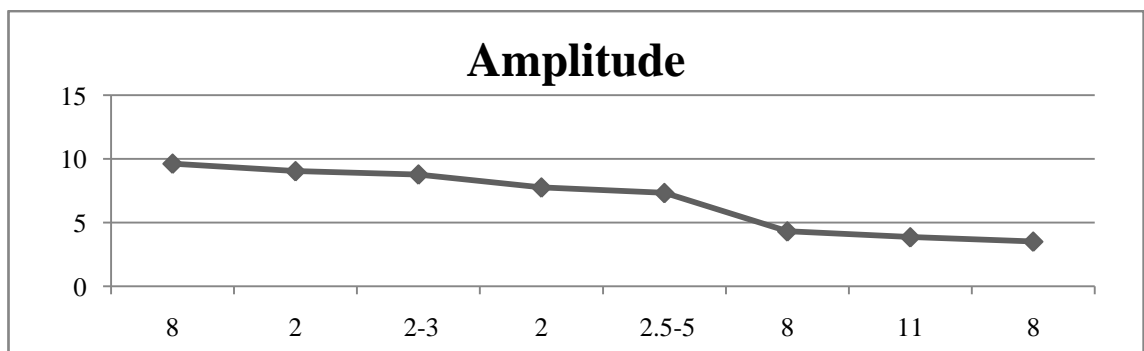


Tableau 16 : Courbe des progressions CMJ (Amplitude)

4.2.1.7 Temps

Dans le groupe A, les temps maximaux passés sur le plateau vibrant varient de 120 à 1200 secondes. Cet intervalle de temps est grand, or seul un auteur soumet ses sujets à 20 minutes de vibrations. Les autres auteurs du groupe A ont des temps rangés de 120 à 360 secondes. Dans le groupe B, ces temps varient de 180 à 600 secondes.

De bons résultats peuvent donc être obtenus en moins de 6 minutes de WBV.

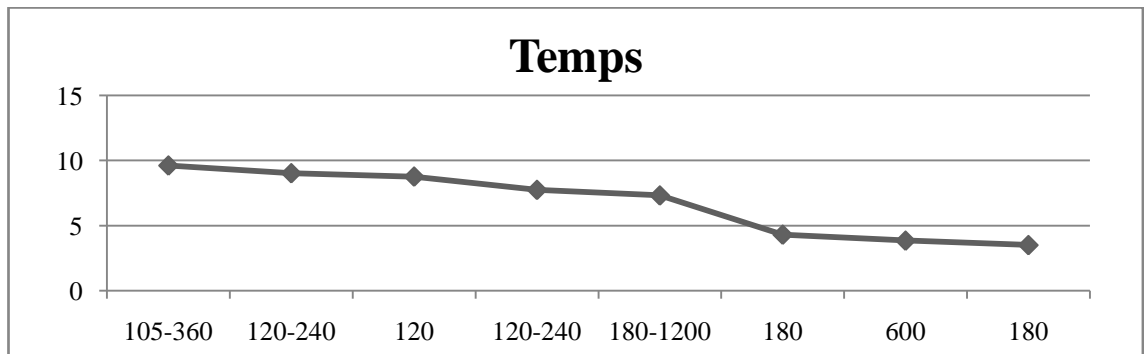


Tableau 17 : Courbe des progressions CMJ (Temps)

4.2.2 Force dynamique

La courbe suivante présente les augmentations de force dynamique dans les études incluses.

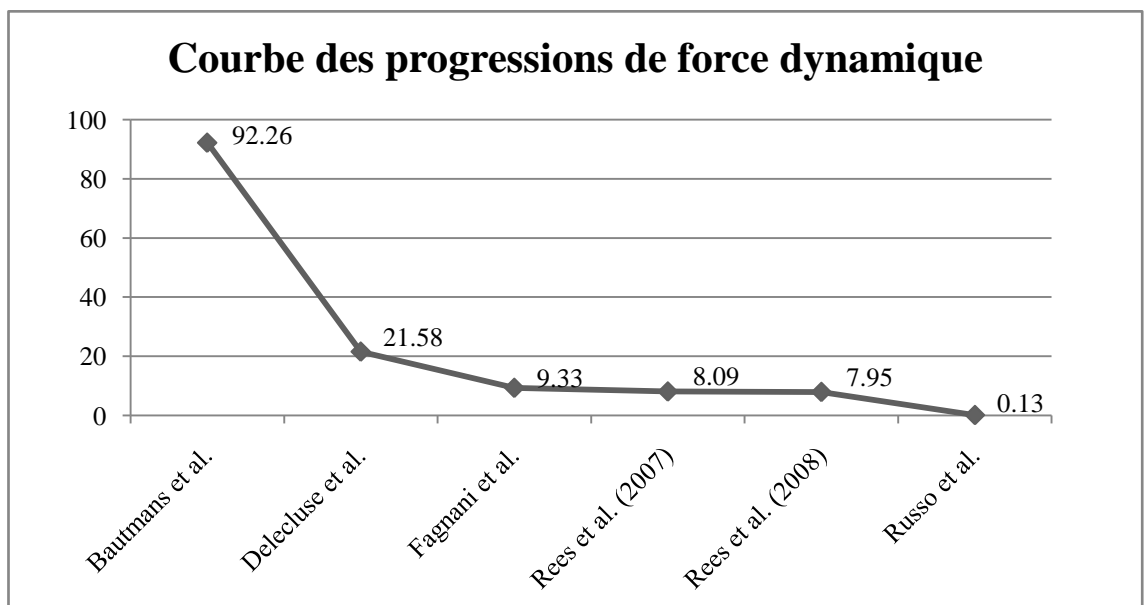


Tableau 18 : Courbe des progressions de la force dynamique

Les groupes d'intervention des 2 premières études progressent de plus de 20% (respectivement 92.26% et 21.58%). Trois études ont des résultats quasi similaires (entre 9.33 et 7.95%). La dernière étude progresse seulement de 0.13%.

4.2.2.1 Instruments de mesure

Deux auteurs utilisent des dynamomètres en chaîne fermée entre 40 et 80 cm/s (Fitnet Machine, Aristokin®), un auteur utilise le squat jump et en déduit la force grâce aux accélérations, deux autres utilisent un dynamomètre en chaîne ouverte, l'un à 100°/s entre 90 et 20° de flexion de genou (REV 9000, Technogym®) et l'autre à 60°/s entre 85 et 10° de flexion de genou (Cybex II). Les instruments de mesure sont différents et quand ils sont similaires ce sont les protocoles de tests qui diffèrent. La validité de l'analyse de ces résultats entre eux doit en tenir compte.

4.2.2.2 Population

Quatre études concernent des personnes âgées, hommes et femmes, de plus de 60 ans. Deux études ont des sujets féminins entre 20 et 27 ans (Fagnani et al. et Delecluse et al.). Ces études sont réparties de manière aléatoire sur l'axe des X quant à l'âge et au sexe de leurs sujets. Une seule étude porte sur une population sportive (Fagnani et al.). Cette dernière étant située au milieu du graphe, ceci ne nous permet pas de dégager une tendance par rapport au niveau physique des sujets.

Toutes ces considérations montrent qu'il n'est pas possible d'imputer la forme de cette courbe à des caractéristiques de la population.

4.2.2.3 Type d'exercices

Sur les 6 études, 5 utilisent des exercices conjugués autour du squat et une seule, Russo et al., proposent aux sujets de rester simplement debout sur la plateforme les genoux légèrement fléchis. Cette dernière occupe la dernière place du graphe avec une amélioration de 0.13%. Ceci semble démontrer qu'effectuer des exercices de type squat sur la plateforme engendre de bien meilleurs résultats que de rester debout les genoux légèrement fléchis.

La forme de la courbe ne dépend pas des types d'exercices car tous ceux-ci, sauf pour Russo et al., sont similaires.

4.2.2.4 *Durée de l'étude*

Les 5 premières études classées dans ce graphe durent entre 6 et 12 semaines. La dernière porte sur 24 semaines. Cette constatation nous montre que de bons résultats peuvent être obtenus déjà après 6 semaines et que la quantité de l'amélioration n'est pas directement proportionnelle à la durée de l'intervention.

4.2.2.5 *Fréquence*

Les fréquences vont de 12 à 40 Hz. Leur répartition met en évidence un regroupement des « hautes fréquences » aux premières places. Ceci semble à nouveau montrer l'intérêt de ces « hautes fréquences ».

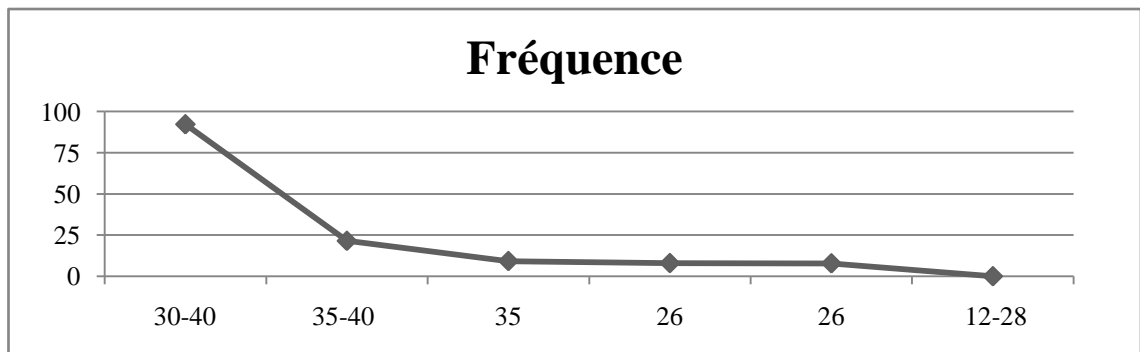


Tableau 19 : Courbe des progressions de la force dynamique (Fréquence)

4.2.2.6 *Amplitude*

Les amplitudes répertoriées sur ce graphe vont de 2 à 8 mm. L'amplitude de l'étude de Russo et al. n'apparaît pas car elle n'a pas été citée dans leur travail. Les 2 meilleurs résultats ont été obtenus avec des basses amplitudes alors que les 3 dernières études dont nous avons une valeur, utilisent des amplitudes plus élevées. Ce graphe fait ressortir une tendance en faveur des faibles amplitudes.

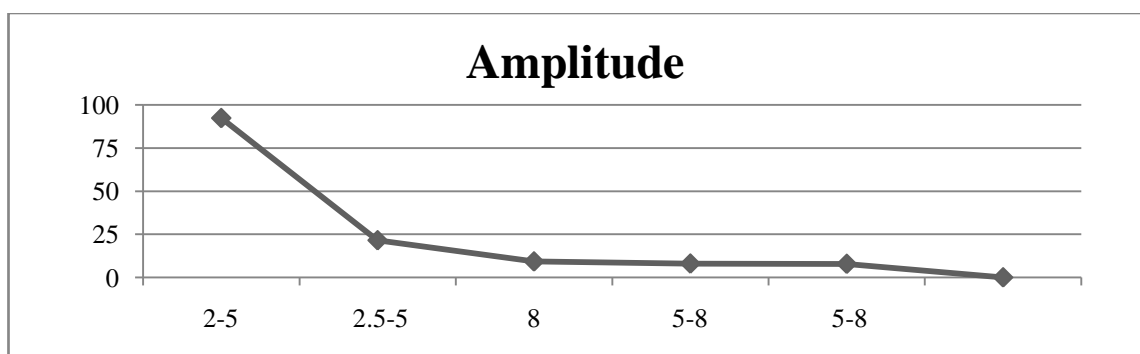


Tableau 20 : Courbe des progressions de la force dynamique (Amplitude)

4.2.2.7 Temps

Les temps totaux maximaux passés sur la machine varient selon les auteurs entre 180 et 1200 secondes. Ces 2 extrêmes se retrouvent dans les 2 meilleurs résultats. La répartition générale de ces temps sur l'axe X ne permet pas de dégager une tendance en faveur de l'une ou l'autre durée. Nous constatons tout de même de très bons résultats avec des temps d'application relativement courts.

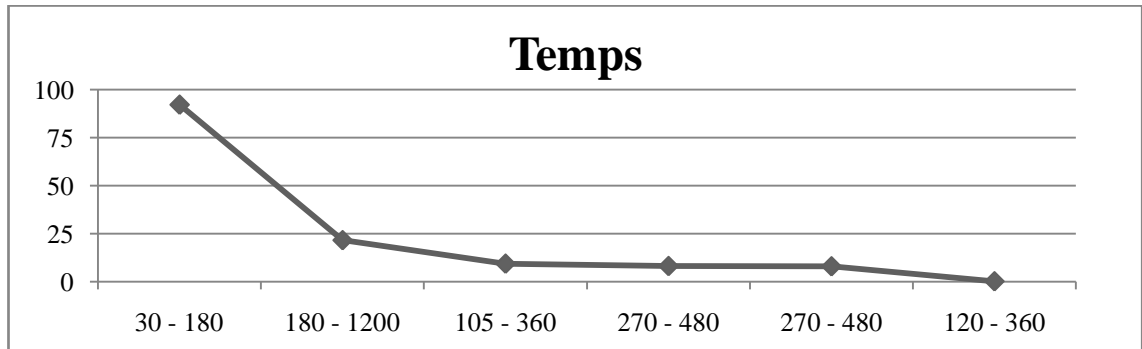


Tableau 21 : Courbe des progressions de la force dynamique (Temps)

4.2.3 Force isométrique

Le graphe ci-dessous présente les améliorations des études portant sur la force isométrique.

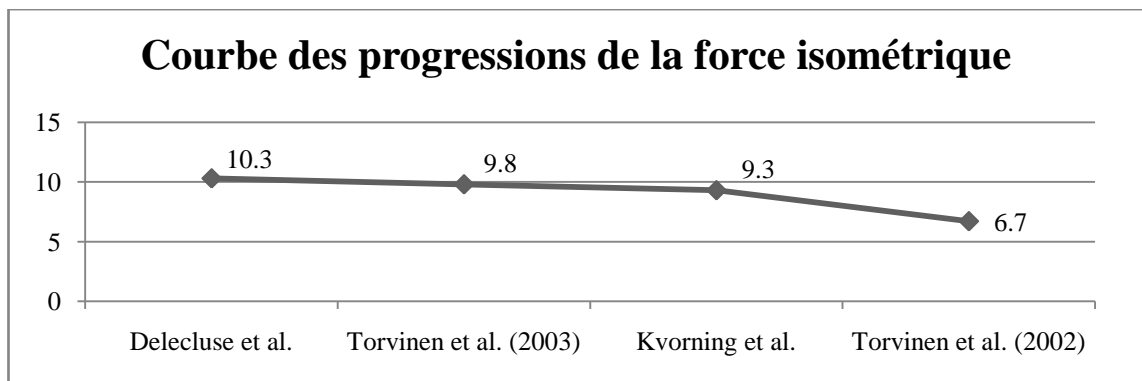


Tableau 22 : Courbe des progressions de la force isométrique

Cette courbe ne comporte que 4 études. Il est très difficile d'en faire ressortir de réelles tendances, d'autant plus que ces 4 études sont regroupées en 3.6% (la courbe est quasiment plate). Les 4 études montrent plus de 6% d'augmentation avec un écart de 2.6% entre la 3^{ème} et la 4^{ème} étude, alors que les 3 premières sont regroupées en 1%.

4.2.3.1 Instruments de mesure

Les instruments de mesure de la force isométrique sont, pour Torvinen et al. la « Leg Press » (Tamtron) à 90° de flexion de genou, pour Delecluse et al. un dynamomètre en chaîne ouverte Technogym (REV 9000) à 50° de flexion de genou et pour Kvorning et al., une « Leg Press » sur une jambe avec un capteur de force (Kistler 9367/8B) à 110° de flexion de genou. Ces méthodes sont très différentes entre elles. Cette hétérogénéité diminue le poids de l'analyse.

4.2.3.2 Population

Ces 4 études portent sur des jeunes gens de 19 à 38 ans. Une étude comprend des sujets féminins (Delecluse), une autre des hommes (Kvorning) et les 2 dernières (Torvinen) ont une population mixte. Le niveau physique varie de faible à modéré. Ces paramètres, répartis aléatoirement sur la courbe, ne permettent pas une analyse en fonction des populations.

4.2.3.3 Type d'exercices

Les 4 études utilisent des exercices de type squat, de manière statique et/ou dynamique. Chez Kvorning et al. les sujets réalisent des squats dynamiques avec une charge supplémentaire. Ceux-ci n'obtiennent cependant pas la meilleure augmentation (cf. application d'une charge externe, 45). Les exercices étant relativement similaires, la forme de la courbe ne dépend pas de ce paramètre.

4.2.3.4 Durée de l'étude

Toutes les études classées dans ce graphe portent sur des durées de plus de 2 mois, allant même jusqu'à 32 semaines pour Torvinen et al. Cette dernière, placée en 2^{ème} position, obtient d'aussi bons résultats que les 2 études qui l'entourent et qui portent respectivement sur 12 et 9 semaines. Cela montre qu'un entraînement d'une durée de 2 mois peut apporter autant qu'un entraînement qui se prolonge sur 8 mois.

4.2.3.5 Fréquence

Les fréquences reportées dans ce graphique s'échelonnent de 20 à 45 Hz. Des études utilisant des fréquences élevées se retrouvent dans les 2 premières positions et à la dernière place. Une étude utilisant des basses fréquences est située au milieu du graphe. Cette disposition ne nous permet pas de donner plus de poids à l'un ou l'autre type de fréquence pour cet outcome.

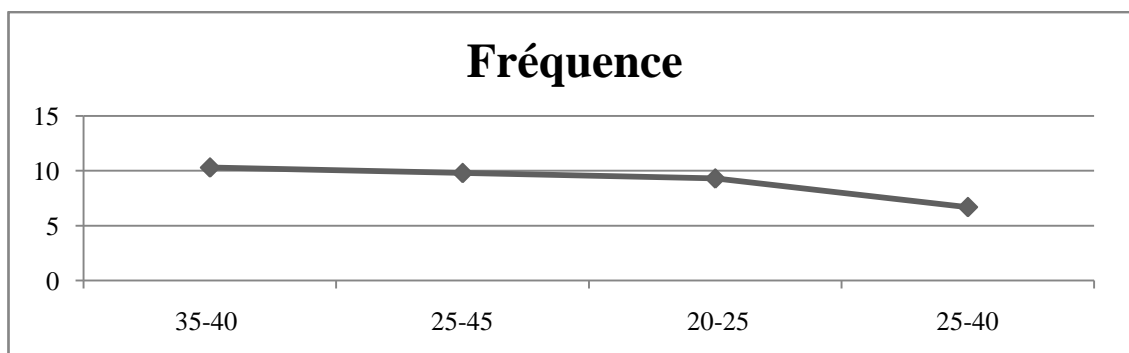


Tableau 23 : Courbe des progressions de la force isométrique (Fréquence)

4.2.3.6 Amplitude

Les amplitudes inventoriées dans ce graphe vont de 2 à 8 mm. Les amplitudes sont réparties sans ordre précis sur l'axe des X. Ces résultats ne semblent ni parler en faveur des petites amplitudes ni en faveur des grandes amplitudes pour l'augmentation de la force isométrique.

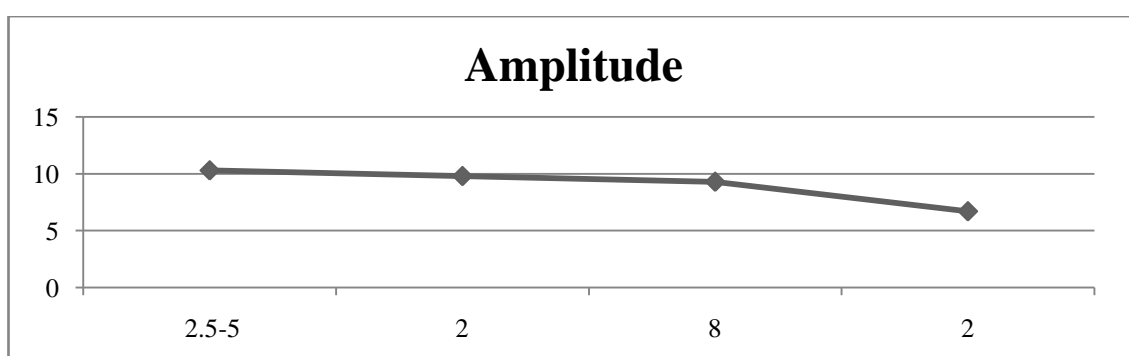


Tableau 24 : Courbe des progressions de la force isométrique (Amplitude)

4.2.3.7 Temps

Les temps totaux maximaux passés sur la machine varient selon les auteurs entre 180 et 1200 secondes. Excepté pour Delecluse et al., les durées sont relativement homogènes et confirment que de bonnes augmentations peuvent être obtenues avec des temps courts.

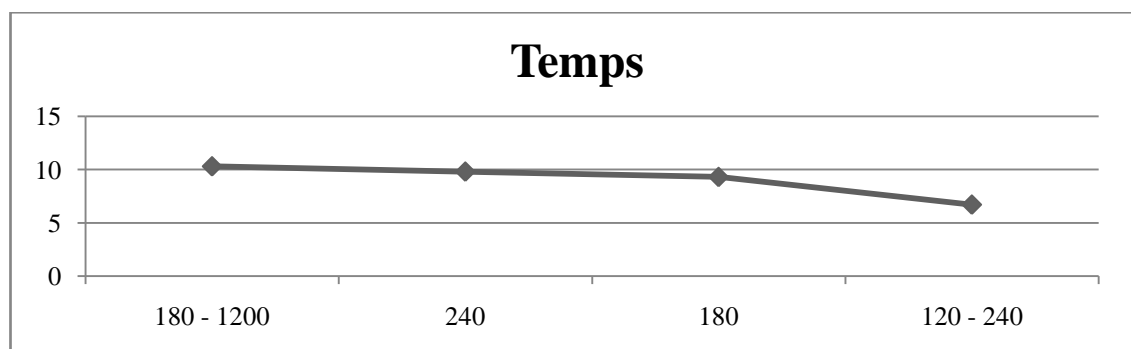


Tableau 25 : Courbe des progressions de la force isométrique (Temps)

5 DISCUSSION

5.1 Résumé des résultats principaux

Nous voulions démontrer, dans l'étape 1 de notre analyse, l'effet des vibrations par rapport aux groupes de contrôle (rien ou mêmes exercices). Les résultats obtenus confirment l'intérêt clinique des plateformes dans l'augmentation des capacités musculaires pour nos 3 outcomes : CMJ, force dynamique, force isométrique. Les différences de moyennes sont en effet positives pour 21 des 26 groupes analysés (négatives pour 4 groupes et une donnée manquante).

Le manque de valeurs p dans l'ensemble des études ne nous permet pas de juger de la pertinence statistique de ces résultats. En effet, les auteurs mentionnent la valeur p pour seulement 13 groupes sur 26 (5/13 sont plus petites que 0.05).

Dans l'étape 2, nous voulions mettre en évidence les meilleurs paramètres de réglage. Pour la fréquence, les résultats de l'analyse CMJ attestent d'un meilleur rendement des hautes fréquences (35-40 Hz) dans l'amélioration de la hauteur des sauts. Cette tendance est confirmée par l'analyse des résultats de la force dynamique.

En ce qui concerne l'amplitude, les résultats de l'analyse CMJ montrent une forte tendance en faveur des amplitudes basses (2-5 mm). Là encore l'analyse de la force dynamique vient corroborer ce résultat.

Le temps passé sur la machine ne doit pas forcément être long pour observer de bonnes améliorations. Dans l'analyse des outcomes CMJ et Force dynamique, des temps totaux courts se retrouvent aux premières positions. Ceci vient appuyer l'idée qu'un temps de travail court (≤ 4 mn) est suffisant pour observer un effet sur les capacités musculaires du membre inférieur.

L'analyse de la force isométrique ne permet aucune conclusion par rapport aux fréquences, amplitudes et temps. Le nombre d'études incluses pour cet outcome et la forme de la courbe ne permettent pas de faire ressortir une tendance en faveur de l'un ou l'autre des paramètres de réglage.

5.2 Comparaison avec la littérature

5.2.1 Fréquence

Huizing (31) prétend qu'une fréquence plus grande que 28 Hz n'est pas utile. En effet, il considère qu'un cycle de contraction-relâchement des muscles à fibres rapides est de 0.036 secondes. Ce cycle ne peut donc se reproduire que 28 fois dans la seconde. Ainsi, utiliser une plus grande fréquence n'est pas bénéfique.

Cardinale (29) a étudié l'activité électrique du muscle Vastus lateralis à différentes fréquences entre 30 et 60 Hz. Il a obtenu une meilleure augmentation de l'activité électrique à 30 Hz.

Abercomby (35) a mis en évidence une fréquence optimale de travail à 45 Hz pour le Vastus lateralis en utilisant une technique diminuant les mouvements parasites. Sans cette méthode, il obtient également une fréquence optimale de 30 Hz pour le Vastus lateralis.

Nos résultats sont quelque peu contradictoires avec la recherche ciblée sur la fréquence. Ceux-ci corroborent toutefois l'étude d'Abercomby qui propose une fréquence plus élevée que les autres auteurs en justifiant sa valeur par une compensation d'artefacts présents dans l'entraînement de WBV.

5.2.2 Amplitude

Adams et al. (57) ont mis en évidence une amélioration significative de la performance musculaire avec des associations entre basse fréquence et basse amplitude ou alors haute fréquence et haute amplitude. Hormis cette étude, aucune recherche n'existe à notre connaissance sur l'amplitude en tant que telle.

Nos résultats parlent plutôt en faveur d'une haute fréquence alliée à une basse amplitude mais étant donné la pauvreté de la recherche sur ce point, nos résultats sont difficilement comparables à ceux d'une seule étude.

5.2.3 Accélération

Bazett-Jones et al. (32) se sont penchés sur l'étude des différentes accélérations et de leur effet sur la hauteur des CMJ. Ils ont pu mettre en évidence, sur des sujets non entraînés, une augmentation significative de la performance à 2.8 g (à 40 Hz et 2-4 mm) et 5.83 g (à 50Hz et 4-6 mm) d'accélération moyenne (mesurée avec un accéléromètre). Ils ont cependant modifié ces accélérations en faisant varier et la fréquence et l'amplitude. Les 2 accélérations qu'ils ont obtenues peuvent être atteintes avec plusieurs combinaisons de réglages.

Nos résultats parlent en faveur de fréquences élevées et d'amplitudes basses. En calculant les accélérations maximales des 2 extrêmes (35 Hz et 2 mm ; 40 Hz et 5 mm), nous obtenons des valeurs de 4.93 g et 16.08 g. L'accélération moyenne et l'accélération maximale ne traduisent pas les mêmes valeurs. Nous ne pouvons donc pas comparer directement nos résultats.

5.2.4 Temps

Stewart (30) a étudié le temps d'application des vibrations. Il a analysé trois différentes durées d'exercices avec le même protocole (2-4-6 minutes). Sa conclusion est que les performances musculaires (force moyenne et maximale) sont meilleures après 2 minutes (+3.8%) alors qu'elles diminuent après 4 minutes (-2.7%) et encore plus après 6 minutes (-6.0%).

Ce résultat va dans le sens de nos observations, à savoir que le temps total d'entraînement WBV n'a pas besoin d'être long pour être efficace.

Attention toutefois au fait que dans un protocole de renforcement musculaire, la fatigue doit être recherchée afin de créer le phénomène de surcompensation (58,59).

5.3 Limitations de la revue

L'inconsistance de la terminologie dans la littérature, comme le mentionne très bien Lorentzen (37), est un grand problème dans la recherche sur les plateformes vibrantes. Certains auteurs utilisent l'amplitude « peak to peak » mais la définissent comme l'amplitude. Ceci influence le calcul de l'accélération. Ce calcul est d'ailleurs souvent erroné dans la littérature, l'accélération donnée et l'accélération théorique (calculée avec la fréquence et l'amplitude donnée) étant différentes (37).

De plus, les écarts-types des différences de moyennes, les valeurs p et les indices de confiance sont souvent manquants. Certaines données sont peu crédibles (écart-type de 0.5 mm sur une moyenne de saut de 25 cm !(8)) ou mathématiquement fausses (écarts-types plus grands que la moyenne (1)). Nous avons essayé d'obtenir les informations manquantes auprès des auteurs. Peu d'auteurs nous ont répondu.

Si toutes ces valeurs étaient correctement retranscrites, la réalisation de revues systématiques sur ce sujet s'en trouverait grandement facilitée. La qualité des revues systématiques pourrait être meilleure car il serait possible d'analyser ces résultats avec des tests statistiques valables. Nous pourrions alors donner une validité externe à nos résultats.

L'optimisation des paramètres de réglage des plateaux vibrants était notre objectif. Cependant les programmes d'exercices réalisés sur ces machines jouent assurément également un rôle important dans l'augmentation des capacités musculaires. Si la recherche parvient à définir une fréquence, une amplitude et un temps d'application idéaux, les exercices seront alors le paramètre de progression dans l'entraînement.

Le sponsoring est relativement important sur ce sujet. Deux études incluses sont directement soutenues financièrement par Powerplate (1, 5). Il faut aussi mentionner le fait que Bosco a développé lui-même sa propre plateforme vibrante (NEMES BOSCO SYSTEM). La question est ouverte : « Est-ce que le développement de sa machine est une cause ou une conséquence de ses travaux antérieurs ? » Ces éléments augmentent le risque de biais de publication.

Il est également important de distinguer les différents auteurs qui représentent un groupe de travail identique : Delecluse, Verschueren, Roelants, Bogaerts. De plus, nous avons inclus 2 études de Torvinen (2, 7) dont la première est en fait une étude réalisée avec les résultats intermédiaires de la seconde. Rees (10, 11) présente une seule et même étude en 2 publications où, dans la 2^{ème}, il occulte le groupe de contrôle n'effectuant aucun exercice.

6 Conclusion

6.1 Implications pour la pratique

Cette revue montre qu'il est pertinent d'utiliser les plateaux vibrants dans la pratique quotidienne. Elle démontre l'aptitude de ces machines à augmenter les capacités musculaires du membre inférieur pour des sujets sains.

Nos résultats nous amènent à conseiller les réglages suivants. Une combinaison de fréquence élevée (35-40 Hz) et d'amplitude faible (2-5 mm) serait convenable. La durée totale des exercices sur un plateau vibrant n'a pas besoin de se prolonger au-delà de 4 minutes.

6.2 Implications pour la recherche

Les mécanismes considérés comme responsables de l'augmentation de performances musculaires sont encore mal compris. Toutefois, comme le démontre notre revue, un intérêt clinique est à relever pour ces machines. Malgré tout, la recherche n'est encore que peu structurée dans ce domaine et les auteurs publient à tour de rôle différentes études qui sont difficilement comparables (hétérogénéité dans les mesures, les protocoles, les réglages,...). Il est primordial que les prochaines recherches se consacrent à définir un protocole optimal de réglages et d'exercices, et à prouver statistiquement l'utilité de ces machines.

Les auteurs des futures études devront confirmer ou infirmer nos résultats (haute fréquence et basse amplitude) par leurs recherches en utilisant nos prescriptions de réglages.

6.3 Apports personnels

La réalisation de ce travail nous a permis d'apprendre à gérer le temps à disposition et, dans la mesure du possible, de se tenir à notre planification. Nous avons également dû gérer la commande des études manquantes par le biais de la bibliothèque de l'école, ainsi que la longue attente de la réception de celles-ci.

Sur un plan plus personnel, nous avons développé nos capacités d'écoute, de partage d'idées et d'argumentation. Nous avons dû prendre des décisions quand bien même nos

avis ne convergeaient pas. Nous avons ainsi dû gérer des frustrations. Ces valeurs de communication et de gestion de conflits nous seront certainement utiles dans notre carrière professionnelle.

Pour la réalisation de cette revue systématique, nous avons appris à utiliser les bases de données en ligne. Cet instrument de savoir aussi génial qu'intéressant nous sera très profitable pour la suite de notre épanouissement professionnel.

Nous avons également pu comprendre et assimiler les étapes et la méthode nécessaire à la réalisation d'une revue systématique. Nous avons appris à utiliser Review Manager 5, un programme très utile à l'accomplissement d'un tel travail. Nous avons également dû faire face aux nouveautés d'Office 2007 lors de la rédaction et de la mise en page de ce travail.

Tout au long de ce travail, nous avons dû juger la littérature scientifique avec un certain esprit critique. Nous avons tenté de le faire apparaître lors de la rédaction de ce travail. Dans notre vie professionnelle, nous serons amenés à lire quantité d'articles scientifiques et l'esprit critique que nous avons développé nous aidera à juger de la pertinence de cette littérature.

Références

- 1 BAUTMANS, Y, et al. The feasibility of whole body vibration in institutionalised elderly persons and its influence on muscle performance balance and mobility. *BMC Geriatrics*, 2005, 22, p.1-8.
- 2 TORVINEN, S, et al. Effect of 8-month vertical whole body vibration on bone, muscle performance, and body balance: a randomized controlled study. *Journal of bone and mineral research*, 2003, 18 (5), p. 876-884.
- 3 KVORNING, T, et al. Effects of vibration and resistance training on neuromuscular and hormonal measures. *Eur J Appl Physiol*, 2006, 96, p.615-625.
- 4 FAGNANI, F, et al. The effects of a whole body vibration program on muscle performance and flexibility in female athletes. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 2006, 85 (12), p.956-961.
- 5 DELECLUSE, C, ROELANTS, M, VERSCHUEREN, S. Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Med Sci Sports Exerc*, 2003, 35 (6), p.1033-1041.
- 6 RONNESTAD, BR. Comparing the performance-enhancing effects of squats on a vibration platform with conventional squats in recreationally resistance-trained men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2004, 18 (4), p. 839-845.
- 7 TORVINEN, S, et al. Effect of four-month vertical whole body vibration on performance and balance. *Med Sci Sports Exerc*, 2002, 34 (9), p. 1523-1528.
- 8 COCHRANE, DJ, LEGG, SJ, HOOKER, MJ. The short-term effect of whole-body vibration training on vertical jump, sprint, and agility performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2004, 18 (4), p. 828-832.
- 9 RUSSO, R, et al. High-frequency vibration training increases muscle power in postmenopausal women. *Arch Phys Med Rehabil*, 2003, 84, p. 1854-1857.
- 10 REES, SS, MURPHY, AJ, WATSFORD, ML. Effects of whole body vibration exercise on lower extremity muscle strength and power in an older population : a randomized clinical trial. *Journal of Aging and Physical Activity*, 2007, 15, p. 367-381.

- 11 REES, SS, MURPHY, AJ, WATSFORD, ML. Effects of vibration exercise on muscle performance and mobility in an older population. *Phys Ther*, 2008, 88 (4), p.462-470.
- 12 DI GIMINIANI, R, et al. The effects of vibration on explosive and reactive strength when applying individualized vibration frequencies. *Journal of Sports Sciences*, 2009, 27 (2), p. 169-177.
- 13 BOGAERTS, A, et al. Impact of whole-body vibration versus fitness training on muscle strength and muscle mass in older men : a 1-year randomized controlled trial. *Journal of Gerontology : MEDICAL SCIENCES*, 2007, 62 (6), p. 630-635.
- 14 ROELANTS, M, DELECLUSE, C, VERSCHUEREN, S. Whole-body-vibration training increases knee-extension strength and speed of movement in older women. *JAGS*, 2004, 52, p.901-908.
- 15 VERSCHUEREN, S, et al. Effect of 6-month whole body vibration training on hip density, muscle strength, and postural control in postmenopausal women : a randomized controlled pilot study. *Journal of bone and mineral research*, 2004, 19 (3), p.352-359.
- 16 ANNINO, G, et al. Effect of whole body vibration training on lower limb performance in selected high-level ballet students. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2007, 21 (4), p.1072-1076.
- 17 BOSCO, C, et al. The influence of whole body vibration on jumping performance. *Biol Sport*, 1998, 15, p.157-164.
- 18 COSTANTINO, C, POGLIACOMI, F, SONCINI, G. Effect of the vibration board on the strength of ankle dorsal and plantar flexor muscles : a preliminary randomized controlled study. *Acta Biomed*, 2006, 77, p.10-16.
- 19 DELECLUSE, C, et al. Effects of whole body vibration on muscle strength and sprint performance in sprint-trained athletes. *Int J Sports Med*, 2005, 26, p.662-668.
- 20 LAMONT, HS, et al. Effects of 6 weeks of periodized squat training with or without whole body vibration on short-term adaptations in jump performance within recreational resistance trained men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2008, 22 (6), p.1882-1893.
- 21 BOSCO, C, et al. Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clinical Physiology*, 1999, 19 (2), p.183-187.

- 22 CARDINALE, M, POPE, MH. The effects of whole body vibration on humans: Dangerous or advantageous? *Acta Physiologica Hungarica*, 2003, 90 (3), p.195-206.
- 23 CARDINALE, M, WAKELING, J. Whole body vibration exercise: are vibrations good for you? *Br J Sports Med*, 2005, 39, p.585-589.
- 24 NORDLUND, MM, THORSTENSSON, A. Strength training effects of whole body vibration? *Scand J Med Sci Sports*, 2007, 17, p.12-17.
- 25 REHN, B, et al. Effects on leg muscular performance from whole body vibration exercise: a systematic review. *Scand J Med Sci Sports*, 2007, 17, p.2-11.
- 26 JORDAN, MJ, et al. Vibration training: An overview of the area, training consequences, and futures considerations. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2005, 19 (2), p.459-466.
- 27 CARDINALE, M, BOSCO, C. The use of vibration as an exercise intervention. *Exerc Sport Sci Rev*, 2003, 31 (1), p.3-7.
- 28 LUO, J, MC NAMARA, B, MORAN, K. The use of vibration training to enhance muscle strength and power. *Sports Med*, 2005, 35 (1), p.23-41.
- 29 CARDINALE, M, LIM, J. Electromyography Activity of vastus lateralis muscle during whole body vibrations of different frequencies. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2003, 17 (3), p.621-624.
- 30 STEWART, JA, et al. Differential effects of whole body vibration durations on knee extensor strength. *J Sci Med Sport*, 2007, doi:10.1016/j.jsams.2007.09.005
- 31 HUIZING, M. Whole body vibration [in dutch]. *Sportmassage Int*, 2000, 6, p. 1-7.
- 32 BAZETT-JONES, DM, FINCH, HW, DUGAN, EL. Comparing the effects of various whole body vibration accelerations on counter movement jump performance. *Journal of Sports Science and Medicine*, 2008, 7, p.144-150.
- 33 SAVELBERG, HHCM, KEIZER, HA, MEIJER, K. Whole body vibration induced adaptation in knee extensors; consequences of initial strength, vibration frequency and joint angle. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2007, 21 (2), p.589-593.
- 34 ABERCOMBY, AFJ, et al. Vibration exposure and biodynamic responses during whole body vibration training. *Med Sci Sports Exerc*, 2007, 39 (10), p.1794-1800.

- 35 ABERCOMBY, AFJ, et al. Variation in neuromuscular responses during acute whole body vibration exercise. *Med. Sci. Sports Exerc*, 2007, 39 (9), p.1642-1650.
- 36 ZANGE, J, et al. 20 Hz whole body vibration training fails to counteract the decrease in leg muscle volume caused by 14 days of 6° head down tilt bed rest. *Eur J Appl Physiol*, doi 10.1007/s00421-008-0899-z
- 37 LORENTZEN, C, et al. Inconsistent use of terminology in whole body exercise research. *J Sci Med Sport* (2008), doi:10.1016/j.jsams.2008.06.008.
- 38 COCHRANE, DJ, et al. The rate of muscle temperature increase during acute whole-body vibration exercise. *Eur J Appl Physiol*, 2008, 103, p.441-448.
- 39 ERSKINE, J, et al. Neuromuscular and hormonal responses to a single session of whole body vibration exercise in healthy young men. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2007, 27, p.242-248.
- 40 BOSCO, C, et al. Hormonal responses to whole-body vibration in men. *Eur J Appl Physiol*, 2000, 81, p.449-454.
- 41 EKLUND, G, HAGBARTH, KE. Normal variability of tonic vibration reflexes in man. *Experimental neurology*, 1966, 16, p.80-92.
- 42 ISSURIN, VB. Vibrations and their applications in sport. A review. *J Sports Med Phys Fitness*, 2005, 45 (3), p.324-326.
- 43 KRAEMER, WJ, RATAMESS, NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med*, 2005, 35 (4), p.339-361.
- 44 FITTS, RH, RILEY, DR, WIDRICK, JJ. Functional and structural adaptations of skeletal muscle to microgravity. *J Exp Biol*, 2001, 204 (18), p.3201-3208.
- 45 BOSCO, C, et al. The influence of extra load on the mechanical behavior of skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1984, 53 (2), p.149-154.
- 46 BOSCO, C. Adaptive response of human skeletal muscle to simulated hypergravity condition. *Acta Physiol Scand*, 1985, 124 (4), p. 507-513.
- 47 BOSCO, C, LUHTANEN P, KOMI, PV. A simple method for measurement of mechanical power jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1983, 50 (2), p.273-282.
- 48 KNAPIK, et al. Isokinetic, isometric and isotonic strength relationships. *Arch Phys Med Rehabil*, 1983, 64 (2), p.77-80.

- 49 ABERNETHY, P, WILSON, J, LOGAN, P. Strength and power assessment. Issues, controversies and challenges. *Sports Med*, 1995, 19 (6), p.401-417.
- 50 ROCHCONGAR, P. Evaluation isocinétique des fléchisseurs et extenseurs du genou en médecine du sport. *Annales de réadaptation et de médecine physique*, 2004, 47 (6), p.274-281.
- 51 WAKELING, JM, NIGG, BM, ROZITIS, AI. Muscle activity damps the soft tissue resonance that occurs in response to pulsed and continuous vibrations. *J Appl Physiol*, 2002, 93 (3) p.1093-1103.
- 52 RIBOT-CISCAR, E, VEDEL, JP, ROLL, JP. (1989). Vibration sensitivity of slowly and rapidly adapting cutaneous mechanoreceptors in the human foot and leg. *Neurosci Lett*, 104 (1-2), p.130-135.
- 53 BLOTTNER, D, et al. Human skeletal muscle structure and function preserved by vibration muscle exercise following 55 days of bed rest. *Eur J Appl Physiol*, 2006, 97 (3), p.261-271.
- 54 CARDINALE, M. Vibrations make your muscles and bones stronger : fact or fiction? *Symposium ASPS*. Berne 2006
- 55 RITTWEGGER, J, et al. Acute changes in neuromuscular excitability after exhaustive whole body vibration exercise as compared to exhaustion by squatting exercise. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2003, 23 (2), p.81-86.
- 56 CORMIE, P, et al. Acute effects of whole body vibration on muscle activity, strength and power. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2006, 20 (2), p.257-261.
- 57 ADAMS, JB, et al. Optimal frequency, displacement, duration, and recovery patterns to maximize power output following acute whole body vibration. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2009, 23 (1), p.237-245.
- 58 PAHIKE, U, PETERS, H. Recovery after athletic loads. *Leistungssport Germany*, 1992, 22 (4).
- 59 WEINECK, J. *Optimales Training*. 15^{ème} éd. Balingen : Spitta Verlag, 2007. 1212 p. ISBN 978-3-938509-15-9
- 60 SILBERNAGL, S, DESPOPOULOS, A. *Atlas de poche de physiologie*. 3^{ème} éd. Paris : Editions Flammarion, 2006. 436 p. ISBN 2-257-13439-7

61 TRANS, T, et al. Effect of whole body vibration exercise on muscle strength and proprioception in females with knee osteoarthritis, *The Knee* (2009), doi : 10.1016/j.knee.2008.11.014

62 CARDINALE, M. The effects of vibration on human performance and hormonal profile. *Semmelweis University Faculty of Physical Education and Sport Science*, Budapest 2002.

63 WOLFE, JW, RUMMEL, JD. Long-term effects of microgravity and possible countermeasures. *Adv Space Res*, 1992, 12 (1), p.281-284.

64 DAVIES, CT, YOUNG, K. Effect of temperature on the contractile properties and muscle power of triceps surae in humans. *J Appl Physiol*, 1983, 55 (1 Pt 1), p.191-195.

65 CARDINALE, M, RITTWEGER, J. Vibration exercise makes you muscles and bones stronger : fact or fiction? *J Br Menopause Soc*, 2006, 12 (1), p.12-18.

Annexe 1 : Echelle PEDro

PEDro Scale

Rating Scale for RCT's, non-RCTs, and Case Series

For each item, please <u>justify scoring</u> (for <u>both YES and NO responses</u>), by at <u>least</u> mentioning page and paragraph numbers.	Rater 1	Rater 2	Consensus
	_____	_____	_____
1. eligibility criteria were specified	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:
2. subjects were randomly allocated to interventions (in a crossover study, subjects were randomly allocated an order in which treatments were received)	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:
3. allocation was concealed	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:
4. the intervention groups were similar at baseline regarding the most important prognostic indicators	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:
5. there was blinding of all subjects	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:
6. there was blinding of all therapists who administered the therapy	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:
7. there was blinding of all assessors who measured at least one key outcome	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:
8. measures of at least one key outcome were obtained from more than 85% of the subjects initially allocated to groups	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:
9. all subjects for whom outcome measures were available received the treatment or control condition as allocated or, where this was not the case, data for at least one key outcome was analysed by "intention to treat"	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:
10. the results of between- intervention group statistical comparisons are reported for at least one key outcome	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:
11. the study provides both point measures and measures of variability for at least one key outcome	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:	yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> where:

Annexe 2 : Liste des études évaluées avec l'échelle PEDro

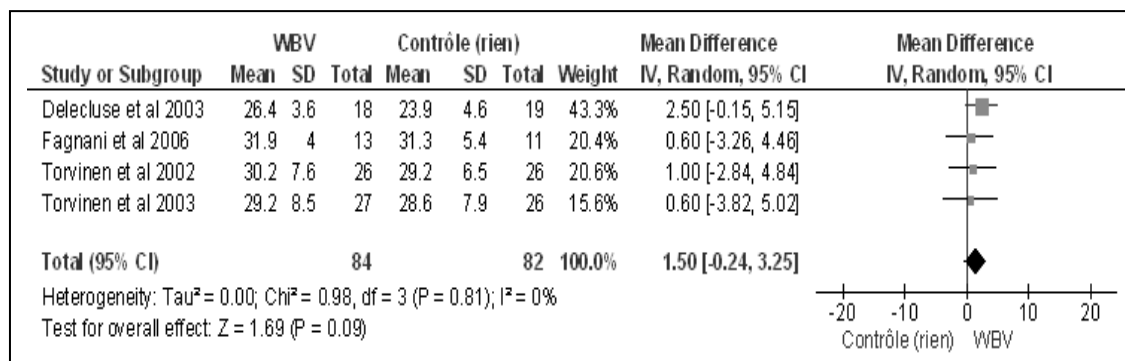
Ordre	Auteur	Titre	PEDro
1	Bautmans et al.	The feasibility of...	8
2	Torvinen et al.	Effect of 8-month...	7
3	Kvorning et al.	Effects of vibration...	7
4	Fagnani et al.	The effects of a whole...	6
5	Delecluse et al.	Strength increase...	6
6	Rønnestad	Comparing the perf...	6
7	Torvinen et al.	Effect of four-month...	6
8	Cochrane et al.	The short-term effect...	6
9	Russo et al.	High-frequency vib...	6
10	Rees et al.	Effects of vibration...	6
11	Rees et al.	Effects of whole-body...	6
12	Di Giminiani et al.	The effects of vib...	5
13	Bogaerts et al.	Impact of whole-body...	5
14	Roelants et al.	Whole-body-vibration...	5
15	Verschueren et al.	Effect of 6-month...	5
16	Annino et al.	Effect of whole body...	5
17	Bosco et al.	The influence of whole...	5
18	Costantino et al.	Effect of the vibration...	4
19	Delecluse et al.	Effects of whole body...	4
20	Lamont et al.	Effects of 6 weeks of...	4
21	Bosco et al.	Adaptive responses...	4

Annexe 3 : Détail des points PEDro

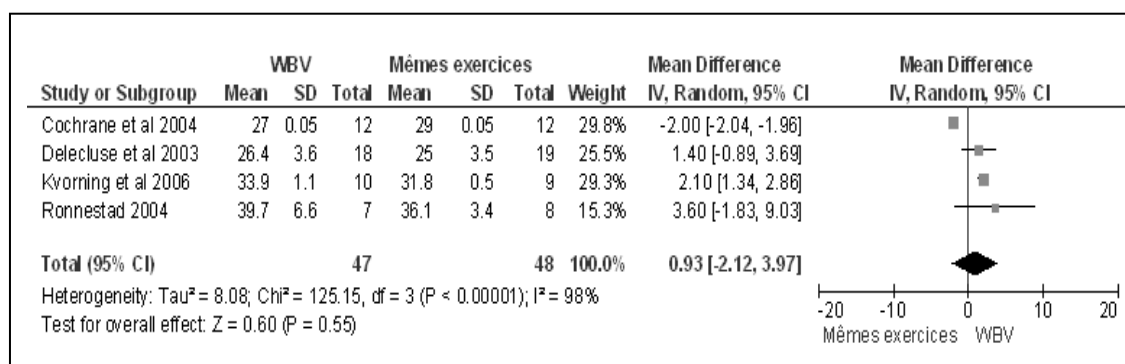
	1) Eligibility criteria	2) Randomisation	3) Allocation concealment	4) Groups are similar	5) Blinding subjects	6) Blinding therapists	7) Blinding assessors	8) Measures (85%)	9) Intention to treat	10) Between-group statistics	11) Measures of variability
Annino et al 2007	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+
Bautmans et al 2005	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+
Bogaerts et al. 2007	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+
Bosco et al 1998	-	+	-	+	-	-	-	+	+	-	+
Bosco et al 1999	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+
Cochrane et al 2004	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	+
Constantino et al 2006	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-
Delecluse et al 2003	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-	+
Delecluse et al 2005	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+
Di Giminiani et al 2009	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	+
Fagnani et al 2006	+	+	-	+	-	-	+	+	-	-	+
Kvorning et al 2006	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+
Lamont et al. 2008	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+
Rees et al. 2007	+	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+
Rees et al. 2008	+	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+
Roelants et al 2004	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+
Rønnestad 2004	+	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+
Russo et al 2003	+	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+
Torvinen et al 2002	+	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+
Torvinen et al 2003	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+
Verschueren et al 2004	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+

Annexe 4 : Forest plots

CMJ

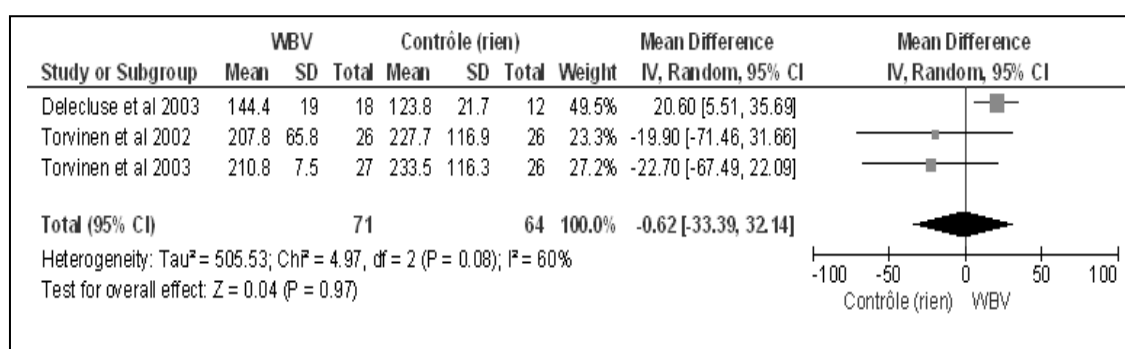


Comparaison WBV-Contrôle Rien

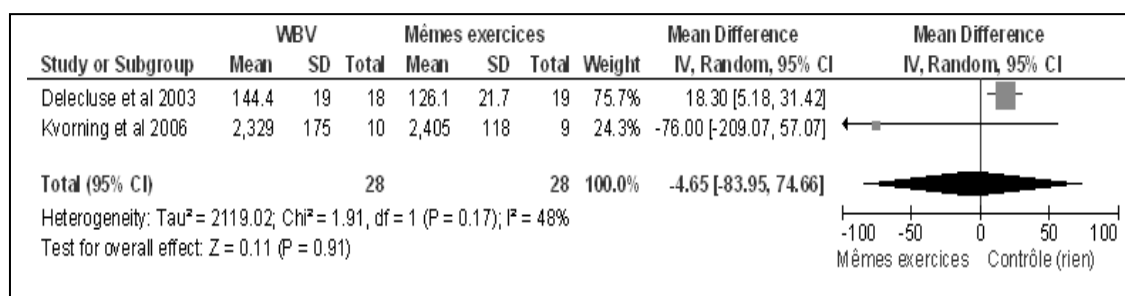


Comparaison WBV-Contrôle Mêmes exercices

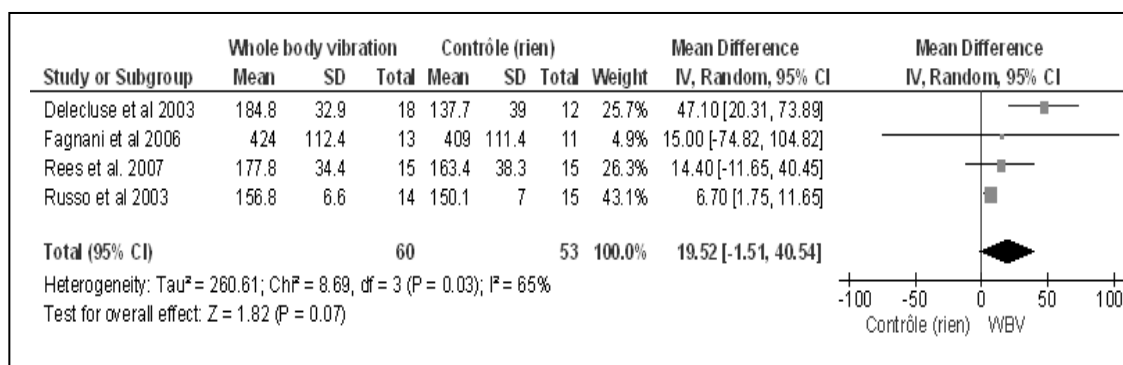
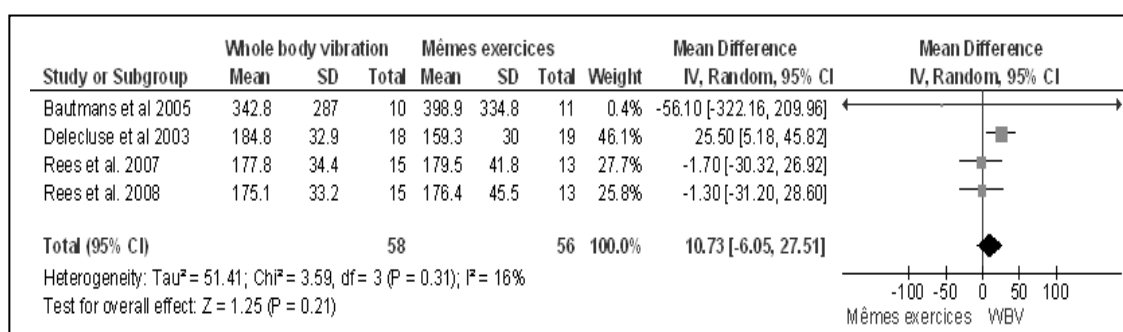
Force isométrique



Comparaison WBV-Contrôle Rien



Comparaison WBV-Contrôle Mêmes exercices

Force dynamique**Comparaison WBV-Contrôle Rien****Comparaison WBV-Contrôle Mêmes exercices**